

MÉMOIRE

FERMENTATION ALCOOLIQUE.

PAR M. L. PASTEUR.

PARIS,

IMPRIMERIE DE MAYER ET BACHELIER,

Place de la Harpe, n.° 22.

1860



MÉMOIRE

sur la

FERMENTATION ALCOOLIQUE,

PAR M. L. PASTEUR.




PARIS,

IMPRIMERIE DE MALLET-BACHELIER,

Rue du Jardinnet, 12.

—
1860.



Digitized by the Internet Archive
in 2010 with funding from
University of Ottawa

MÉMOIRE

SUR LA

FERMENTATION ALCOOLIQUE.

INTRODUCTION.

J'appelle *fermentation alcoolique* la fermentation qu'éprouve le sucre sous l'influence du ferment qui porte le nom de *levûre de bière*.

C'est la fermentation qui donne le vin et toutes les boissons alcooliques. C'est elle également qui a servi de type à une multitude de phénomènes analogues que l'on désigne, suivant un usage général, par le mot générique de *fermentation* suivi de la dénomination de l'un des produits essentiels du phénomène particulier que l'on envisage.

De cette convention relative à la nomenclature adoptée, il résulte que l'expression de *fermentation alcoolique* ne peut pas désigner tout phénomène de fermentation où il se produirait de l'alcool; car il peut y en avoir de diverses sortes ayant ce caractère commun.

Si l'on ne s'entendait à l'avance sur celui de ces phénomènes fort distincts qui devra porter à l'exclusion des autres le nom de *fermentation alcoolique*, on donnerait lieu inévitablement à une confusion de langage qui passerait bien vite des mots aux idées, et jetterait le trouble dans des études déjà par elles-mêmes assez obscures pour que l'on évite avec des soins scrupuleux une complication artificielle.

Toute hésitation sur les mots *fermentation alcoolique* et leur véritable sens m'a d'ailleurs paru impossible, puisqu'ils ont été appliqués par Lavoisier, Gay-Lussac et Thénard à la fermentation du sucre par la levûre de bière. Il y aurait danger sans profit à ne pas suivre l'exemple de ces maîtres illustres qui ont fondé nos premières connaissances sur ce sujet (1).

Dans la première partie de mon travail, j'étudie ce que devient le sucre par la fermentation alcoolique, et dans la deuxième je m'occupe plus spécialement du ferment, de sa nature et des transformations qu'il éprouve. Afin de mieux marquer le progrès dû à mes recherches, j'ai fait précéder chaque partie d'un résumé historique de l'état de la science à l'époque où j'ai commencé à m'occuper de la fermentation alcoolique.

PREMIÈRE PARTIE.

CE QUE DEVIENT LE SUCRE DANS LA FERMENTATION ALCOOLIQUE.

§ I. — *Historique de l'état actuel de la science sur les produits de la fermentation alcoolique.*

Lavoisier exposa le premier les vues les plus judicieuses sur les produits de la fermentation alcoolique. Le Mémoire inséré dans ses *Éléments de Chimie* sur cet objet est singulièrement curieux. Défectueux à l'excès dans les déterminations numériques, il est admirable si on le considère au

(1) M. Berthelot a appliqué la dénomination de *fermentation alcoolique* à des phénomènes qui, selon moi, appartiennent tous sans exception à la fermentation lactique. (*Annales de Chimie et de Physique*, 3^e série, tome L, page 322; 1852.)

N B. Il y aurait avantage à remplacer les expressions *levûre de bière* par celles de *levûre alcoolique*. Le mot *bière* y rappelle une origine trop particulière. On dirait avec plus de convenance *levûre alcoolique de la bière*, *levûre alcoolique de raisin*, *levûre alcoolique de betterave*, pour désigner la levûre propre à la fermentation alcoolique, selon qu'elle aurait pour origine l'orge, le raisin, la betterave.

point de vue des idées générales et philosophiques. C'est là qu'on trouve ces belles paroles : « Rien ne se crée ni dans » les opérations de l'art ni dans celles de la nature, et » l'on peut poser ce principe, que dans toute opération il » y a une égale quantité de matière avant et après l'opéra- » tion, que la qualité et la quantité des principes est la » même et qu'il n'y a que des changements, des modifi- » cations. C'est sur ce principe qu'est fondé tout l'art de » faire des expériences en chimie. »

Quoi qu'il en soit, les opérations que rapporte Lavoisier ne confirment ses vues préconçues que par suite de compensations d'erreurs considérables. Sans entrer dans les détails, je me contenterai de dire que Lavoisier part de la composition du sucre suivante (1) :

Hydrogène.....	8	} 100
Oxygène.....	64	
Carbone.....	28	

où le carbone est en erreur de 14 pour 100. Quelques pages plus loin, Lavoisier donne un tableau complet de ses résultats numériques, dans lequel on trouve, comme il le fait remarquer, que la somme des poids de l'alcool et de l'acide carbonique produits pendant la fermentation est à très-peu près égale au poids du sucre qui a fermenté, et que l'équation se vérifie pour chacun des éléments séparés. L'erreur en moins sur l'acide carbonique est très-grande et elle est compensée par une erreur en plus et équivalente pour l'alcool.

Mais, quoi qu'il en soit et dans la limite d'exactitude des analyses de l'époque sur ces matières, tous les chimistes contemporains de Lavoisier devaient penser que le sucre, sous l'influence de la levûre de la bière, se dédoublait en alcool et en acide carbonique.

(1) LAVOISIER, *Eléments de Chimie*, tome I, page 179, 2^e édition.

Lavoisier résume ainsi les conclusions de ses recherches :

« Les effets de la fermentation vineuse se réduisent donc » à séparer en deux portions le sucre qui est un oxyde; » à oxygéner l'une aux dépens de l'autre pour en former » de l'acide carbonique; à désoxygéner l'autre en faveur » de la première pour en former une substance combusti- » ble qui est l'alcool; en sorte que s'il était possible de » recombinaison ces deux substances, l'alcool et l'acide car- » bonique, on reformerait du sucre. »

Vingt années plus tard, les analyses de Gay-Lussac et Thenard et celles de de Saussure fixèrent définitivement la composition du sucre et de l'alcool. Si les conclusions du travail de Lavoisier n'avaient pu concorder avec ces nouvelles analyses, nul doute qu'elles eussent été révisées par l'expérience et que l'on eût été frappé davantage de la grande inexactitude des mesures de Lavoisier; mais bien au contraire il devint alors facile de faire voir théoriquement qu'en ajoutant de l'alcool et de l'acide carbonique on pouvait reproduire la composition du sucre (1).

(1) Il se passa alors quelque chose de singulier en ce qui concerne les résultats du travail de Lavoisier. On s'efforça de mettre en rapport les données de ses expériences avec les nombres théoriques de la lettre de Gay-Lussac, et l'on profita dans ce but d'une omission de son Mémoire relative à la densité de l'alcool qui figure au tableau résumé de ses résultats. Voir à ce sujet l'article FERMENTATION dans le *Dictionnaire de Chimie de Üre*, traduit par Riffaut, 1823. Le poids de l'alcool trouvé par Lavoisier étant trop élevé, il était facile, en le supposant mêlé d'eau dans une certaine proportion, de retomber sur les chiffres de Gay-Lussac; mais on aurait dû remarquer que cette modification au poids de l'un des deux produits obtenus par Lavoisier dans la fermentation mettait en défaut l'équation même par laquelle cet illustre chimiste avait représenté le phénomène. Je n'aurais pas de peine à croire que Lavoisier ne connaissait pas l'alcool absolu d'aujourd'hui, mais c'est bien avec les nombres tels qu'il les donne que la somme des poids de l'acide carbonique et de l'alcool reproduisait le poids du sucre fermenté, et toucher à l'un des termes de l'équation, c'était nier implicitement son exactitude et la mettre par un autre côté en désaccord avec la théorie de Gay-Lussac.

C'est ce que Gay-Lussac fit bientôt remarquer.

Dans une lettre à M. Clément, insérée dans les *Annales de Chimie* pour 1815, Gay-Lussac, après avoir discuté les analyses récentes sur le gaz oléfiant, l'alcool, l'éther et le sucre, arrive à cette déduction théorique :

« Si l'on suppose maintenant que les produits que fournit le ferment puissent être négligés relativement à l'alcool et à l'acide carbonique qui sont les seuls résultats sensibles de la fermentation, on trouvera qu'étant données 100 parties de sucre, il s'en convertit pendant la fermentation 51,34 en alcool et 48,66 en acide carbonique (1). »

Ces quelques lignes de Gay-Lussac fixèrent l'opinion des chimistes. Néanmoins il s'y cache une erreur qui fut très-judicieusement mise en lumière par MM. Dumas et Boullay en 1828. Ces habiles chimistes firent voir que les nombres de Gay-Lussac ne sont vrais que pour les sucres de formule



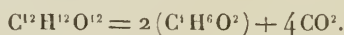
tandis que Gay-Lussac les appliquait au sucre de canne. De là cette conséquence très-bien indiquée par MM. Dumas et Boullay que le sucre de canne ne peut fermenter sans assimiler les éléments d'une molécule d'eau (2). Deux années

(1) GAY-LUSSAC, *Annales de Chimie*, tome XCV, page 318. Voir à la page 317, ligne 5, comment Gay-Lussac introduit à son insu par une hypothèse toute gratuite l'erreur qui fut relevée plus tard par MM. Dumas et Boullay. Après avoir rappelé les résultats de l'excellente analyse du sucre de canne qu'il avait faite antérieurement avec M. Thenard, Gay-Lussac les modifie sans raison de 2 à 3 pour 100, et il trouve alors que le sucre de canne est formé de 6 volumes de vapeur de carbone contre 6 de vapeur d'eau, tandis que l'analyse exacte donnait 6 volumes de vapeur de carbone contre 5 $\frac{1}{4}$ de vapeur d'eau. C'est ainsi que dans les sciences d'observation les meilleurs esprits peuvent être conduits à des résultats erronés par la séduction d'une simplicité plus apparente que réelle.

(2) DUMAS et BOULLAY, *Annales de Chimie et de Physique*, tome XXXVII, page 45; 1828. « La théorie de la fermentation établie par Gay-Lussac laisse donc quelque chose à souhaiter; mais il n'en est plus ainsi dès qu'on sub-

après, M. Dubrunfaut alla plus loin, et reconnut expérimentalement que le sucre de canne avant de fermenter se transformait en sucre incristallisable.

Quoi qu'il en soit, il est facile de reconnaître par la lecture des ouvrages contemporains qu'à dater de la lettre de Gay-Lussac il n'y eut plus de doutes dans les esprits; et, lorsque l'usage des formules chimiques se fut définitivement introduit dans la science, chacun exprima la fermentation alcoolique des sucres sous l'influence de la levûre de bière par l'équation



Mais qu'on le remarque bien, Gay-Lussac n'a pas fait d'expériences; et en tout ceci ce que je vois de plus réel est l'illusion produite par l'équation possible entre le sucre d'une part, l'alcool et l'acide carbonique de l'autre.

Je tenais à montrer par ces détails historiques que l'étude de la fermentation alcoolique, malgré l'importance du sujet, n'avait pas encore été établie sur une base scientifique assurée et que l'équation généralement admise n'était que l'expression d'une théorie qui n'avait pour appui aucune mesure précise.

Le travail de Lavoisier renferme un résultat précieux sur la formation d'une petite quantité d'un acide organique pendant la fermentation alcoolique, fait confirmé par M. Thenard et par tous les observateurs qui se sont occupés de cette fermentation. La nature de cet acide est mal connue. Lavoisier dit que c'est de l'acide acétique, et les auteurs modernes affirment que c'est de l'acide lactique. Sur ce

» situe l'éther à l'alcool dans la composition théorique du sucre. L'accord le plus parfait se rétablit alors entre la théorie et l'expérience. . . . »

« Les sucres de raisin et d'amidon paraissent différer surtout du sucre de canne en ce qu'ils sont composés de telle manière qu'on peut réellement les représenter par de l'acide carbonique et de l'alcool. . . »

point on ne rencontre encore dans les ouvrages aucun travail suivi. L'assertion relative à l'acide lactique s'est probablement introduite dans la science lorsque l'on apprit que M. Dubrunfaut avait obtenu beaucoup d'acide lactique dans certaines fermentations alcooliques (1). Les propositions suivantes résument donc les connaissances actuelles sur les produits de transformation du sucre dans la fermentation alcoolique :

1^o. Le sucre de canne, $C^{12}H^{11}O^{11}$, après s'être modifié en sucre des fruits acides, de composition $C^{12}H^{12}O^{12}$, fermente et se dédouble en alcool et en acide carbonique. La somme des poids de l'alcool et de l'acide carbonique représente à peu de chose près le poids du sucre (2).

(1) Voici comment s'exprime cet habile chimiste industriel dans une Notice historique sur la distillation de la betterave, imprimée en 1856 : « Dans nos travaux de distillation de féculs, à Versailles, de 1831 à 1835, nous faisons rentrer indéfiniment les vinasses en fermentation, faute d'eau, et nous les saturions préalablement avec de la craie. Ces vinasses, après un certain temps, avaient acquis une densité de 12 à 14 degrés Baumé. Étonné d'un pareil fait, nous en fîmes concentrer quelques milliers de litres à consistance sirupense et nous en déposâmes le produit dans de grandes formes à sucre. Nous ne fûmes pas peu surpris d'y trouver, quelques jours après, une abondante cristallisation qui se présentait avec l'aspect du glucose mamelonné de raisin, et qui n'était autre chose que du lactate de chaux. En répétant les expériences de Vauquelin sur les eaux sûres des amidonniers, nous reconnûmes à la même époque que l'acide libre de ces eaux était en très-grande partie de l'acide lactique. Jusqu'en 1841 ou 1842 nous avons été en possession presque exclusive de livrer aux pharmaciens le lactate de chaux utile à leurs besoins. »

(2) La transformation du sucre de canne en sucre incristallisable par la fermentation a été découverte vers 1835 par M. Dubrunfaut. En 1828 MM. Dumas et Boullay avaient montré qu'il n'était pas possible que le sucre de canne fermentât sans assimiler les éléments de 1 équivalent d'eau (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXVII, p. 45). C'est M. Perroz qui le premier a observé que le sucre incristallisable de la fermentation déviait à gauche et se trouvait ainsi analogue au sucre de raisin non solidifié. A la même époque M. Biot découvrit l'inversion du sucre de canne par les acides (*Nouvelles Annales du Muséum d'histoire naturelle*, tome II; 1833; *Comptes rendus*, tome XVII, page 755; *Annales de Chimie et de Physique*, 3^e série, tome XVIII page 102.)

2^o. Une très-petite quantité de sucre se transforme isomériquement en acide lactique de même composition que le sucre.

Je montrerai tout à l'heure que la première proposition n'est jamais exacte, quelle n'est qu'une approximation assez grossière de la vérité ; et quant à la seconde, elle est tout à fait erronée en ce qui touche à la nature de l'acide de la fermentation, lequel n'est dans aucun cas de l'acide lactique, à moins que la fermentation ne se complique fortuitement d'une fermentation tout autre, la fermentation lactique.

Je vais maintenant exposer successivement avec tous les détails convenables les résultats nouveaux de mes recherches.

Je les présente avec confiance aux chimistes, parce que j'ai donné à leur étude des soins minutieux et surtout qu'ayant répété nombre de fois mes expériences dans des conditions variées, je crois être arrivé à faire la part des lois générales des phénomènes en les dégageant des complications accidentelles qui ont jeté beaucoup d'obscurité dans l'histoire de la fermentation alcoolique (1).

§ II. — *La glycérine et l'acide succinique sont des produits de la fermentation alcoolique (2). Leur séparation et leur dosage.*

On peut par des moyens très-divers mettre en évidence la formation de l'acide succinique dans la fermentation.

(1) Ces recherches ont duré trois années, sans interruption, de 1856 à 1859.

(2) J'ai découvert la présence de l'acide succinique parmi les produits de la fermentation alcoolique au commencement de l'année 1857. J'ai communiqué ce fait peu de temps après à la Société des Sciences de Lille, notamment dans les séances du 16 avril et du 1^{er} mai 1857, et à l'Académie des Sciences dans sa séance du 25 janvier 1858. Quant à la glycérine, je ne l'ai reconnue dans les produits de la fermentation qu'au commencement de l'année 1858. La première annonce que j'en ai faite à l'Académie des Sciences est à la date du mois de mai 1858. (*Comptes rendus*, tome XLVI, page 179 et page 857.)

L'un des plus simples consiste à évaporer le liquide fermenté après l'avoir filtré pour séparer la levûre. Le résidu est traité à diverses reprises par de l'éther que l'on abandonne ensuite dans un verre à une évaporation spontanée. Le lendemain, toutes les parois sont couvertes de cristaux d'acide succinique (1). Au fond se trouve un sirop rempli de pareils cristaux et formé à peu près exclusivement par de la glycérine saturée d'acide succinique. L'éther dissout toujours partiellement la glycérine dans ces conditions.

Ce procédé, qui ne conviendrait pas pour extraire et doser l'acide succinique, peut très-bien servir à le mettre en évidence dans tous les liquides fermentés, quelles que soient leur nature et leur origine.

Quant à la glycérine, on opère à peu près comme il vient d'être dit; seulement, au lieu de reprendre le résidu de l'évaporation du liquide fermenté par l'éther, on se sert d'éther mêlé d'alcool. Ce mélange dissout l'acide succinique et la glycérine et laisse les matières extractives azotées. On évapore, on sature par l'eau de chaux, on évapore de nouveau à siccité et on reprend par le même mélange d'alcool et d'éther qui ne dissout que la glycérine sans toucher au succinate de chaux.

Mais lorsqu'il s'agit de déterminer quantitativement l'acide succinique et la glycérine et de les isoler entièrement de tous les autres produits de la fermentation, il faut prendre des précautions particulières sur lesquelles il est indispensable que j'insiste.

La difficulté principale de l'analyse du liquide fermenté tient aux produits solubles que la levûre de bière apporte dans ce liquide ou qui résultent de ses transformations, auxquelles le sucre ne reste pas étranger. La nature de ces

(1) Quelquefois la cristallisation exige plusieurs jours avant de se montrer.

produits est toujours la même sensiblement, mais leur proportion varie avec les quantités de levûre et de sucre que l'on emploie.

Dès que la levûre de bière est délayée dans l'eau sucrée, elle cède à la liqueur une partie de ses principes solubles emprisonnés à l'intérieur de ses globules. Des matières salines, principalement des phosphates et des matières azotées albuminoïdes, entrent en dissolution, et les globules, puisant une partie de leur nourriture dans ces deux sortes de substances, vivent, bourgeonnent, se multiplient.

Les mutations des tissus et des aliments donnent lieu à des modifications des produits primitifs ou à des corps nouveaux, les uns solides et insolubles, les autres liquides et solubles, qui restent dans la liqueur et que nous y retrouvons après l'achèvement de la fermentation, mélangés avec les produits de dédoublement du sucre.

Ces considérations générales étant posées, occupons-nous de la séparation et du dosage de quelques-uns des produits de la fermentation alcoolique.

Le poids de la levûre employée est déterminé avec soin. Une autre portion également déterminée de la même levûre est pesée après dessiccation dans une étuve à eau bouillante, afin de connaître le poids total de matière sèche que renferme cette levûre.

Lorsqu'en examinant avec attention pendant quelques minutes la liqueur qui fermente, ou ne voit plus s'élever du fond du vase aucune bulle de gaz, la fermentation est achevée (1). Dans le cas contraire et lors même qu'il ne se dégag-

(1) Cela suppose toutefois que la fermentation a été seulement alcoolique. Si elle était devenue accidentellement lactique, tout dégagement de gaz pourrait cesser lors même qu'il y aurait encore beaucoup de sucre dans la liqueur. Mais c'est un cas tout à fait exceptionnel et qui ne se présente guère que si la levûre de bière employée n'est pas fraîche et renferme déjà de la levûre lactique.

N. B. J'ai observé un fait bien singulier relativement au dégagement des bulles de gaz acide carbonique. C'est que jamais les bulles de gaz carbonique

gerait qu'une bulle microscopique après un intervalle de plusieurs minutes, nul doute qu'il existe encore du sucre non décomposé. Il y a un moyen plus certain, qui consiste à essayer une petite quantité du liquide avec la liqueur cuivrique de Fehling. Si la réduction est nulle, c'est qu'il n'y a plus du tout de sucre. Mais il faut être sobre dans l'emploi de ce moyen et ne l'appliquer que comme contrôle du précédent, quand on juge que la fermentation est arrivée à son terme, parce que l'on donne de cette manière accès à l'air atmosphérique, ce qui peut avoir des inconvénients pour la suite de l'analyse. Je suppose donc le cas ordinaire, celui d'une bonne fermentation alcoolique entièrement terminée (1).

Le liquide fermenté est filtré sur un filtre dont la tare a été faite avec un autre filtre de même papier. Après dessiccation à 100 degrés, une pesée donne le poids à l'état sec du dépôt de levûre qui s'est rassemblée peu à peu au fond du vase où s'est opérée la fermentation.

ne partent des globules de levûre, mais uniquement des poussières ou corps étrangers qui existent dans la levûre ou le liquide, et qu'il est bien difficile, pour ne pas dire impossible, d'éloigner tout à fait. On ne saurait vraiment prévoir comment les choses se passeraient si l'on parvenait à les isoler complètement. Le liquide se sature d'une manière invisible de gaz carbonique, et l'excès va se dégager là où se trouvent des corps microscopiques étrangers, différents des globules de levûre. Il est assez étrange que la production du gaz carbonique ait lieu par le fait des globules, qui sont des corps solides, et que néanmoins ces derniers ne puissent provoquer le dégagement du gaz à la manière des corps solides ordinaires inorganisés.

(1) Au commencement de mes recherches j'étais porté à croire, avec beaucoup de personnes, que dans les essais en petit les fermentations alcooliques ne s'achèvent que fort rarement. C'est une erreur. Quinze jours, trois semaines suffisent en général si la fermentation ne devient pas partiellement lactique. Mais il y a une circonstance assez importante qui n'a pas été remarquée, ce me semble, dans laquelle les fermentations alcooliques ont une durée pour ainsi dire illimitée. Cela se présente invariablement toutes les fois que l'on emploie un excès de sucre. J'ai lieu de croire qu'une fermentation de ce genre peut durer des années entières. Dans tous les cas, je puis assurer que j'en ai suivi un grand nombre pendant quatre, cinq, six mois, et elles continuaient encore, toujours avec une excessive lenteur dès la fin du

Le liquide filtré est soumis à une évaporation très-lente dont je donnerai à peu près la mesure en disant qu'il faut douze à vingt heures pour évaporer $\frac{1}{2}$ litre d'eau. Lorsqu'il reste environ 10 à 20 centimètres cubes de liquide, on achève l'évaporation dans le vide sec.

Si l'évaporation est plus rapide et se termine à feu nu, on perd infailliblement une quantité très-sensible d'acide succinique et de glycérine. Après vingt-quatre heures de vide sec, le résidu sirupeux de la capsule est traité à diverses reprises par un mélange d'alcool et d'éther formé de 1 partie d'alcool à 90 ou 92, et de $1 \frac{1}{2}$ partie d'éther rectifié. Pour plus de sûreté, on jette chaque portion de ce mélange éthéré sur un filtre, bien que généralement le résidu insoluble reste en une masse plastique au fond de la capsule ; mais, à mesure que les lavages se répètent, le résidu perdant son eau de plus en plus, devient dur et quelquefois se divise en grumaux, ce qui peut souiller le liquide de lavage de matières solides en suspension. Quoique l'on fasse, le résidu insoluble offre une très-faible réaction acide au papier de tournesol bleu. C'est sa nature. Après sept ou huit lavages, il n'y reste plus d'acide succinique ni de glycérine.

Je reviendrai sur la composition de ce résidu insoluble dans le mélange alcoolique éthéré. Je me contenterai de dire ici que pour en déterminer le poids total il suffit de

premier mois. Je reviens sur ces faits dans le cours du Mémoire. Leur explication se présentera naturellement.

L'une des principales causes de la lenteur progressive de la fermentation a été fort bien indiquée par M. Chevreul, 28^e leçon de son *Traité de Chimie appliquée à la teinture*. Il est certain que le changement de nature qui s'opère dans le liquide par la transformation du sucre en divers produits influe beaucoup sur la marche du phénomène. J'ai reconnu, par exemple, que la levûre la plus active paraît pour ainsi dire inerte si on l'ajoute à de l'eau sucrée additionnée préalablement des quantités d'alcool et d'acide succinique qu'elle serait capable de développer dans une eau sucrée pure, et où elle provoquerait durant plusieurs jours une vive fermentation.

le reprendre par l'eau et de l'évaporer dans une capsule tarée au bain-marie, puis dans l'étuve à eau, à 100 degrés, jusqu'à ce que son poids soit invariable.

Occupons-nous maintenant du liquide alcoolique éthéré. Le flacon même où on l'a recueilli est placé dans un bain-marie tiède pour chasser la plus grande partie de l'éther. On peut alors en ajoutant de l'eau évaporer dans une capsule de porcelaine sans craindre que le grimpement du liquide éthéré donne lieu à des pertes. Cette évaporation doit se faire également à un feu très-doux et se terminer dans le vide sec.

Alors on ajoute de l'eau de chaux pure bien limpide jusqu'à neutralité aussi exacte qu'il est possible de l'atteindre. On évapore de nouveau avec les mêmes précautions, et on reprend le résidu par le mélange alcoolique éthéré qui ne dissout que la glycérine. Le succinate de chaux reste à l'état cristallin souillé d'une petite quantité de matière extractive ou d'un sel de chaux à acide incristallisable. Il est facile de débarrasser le succinate de chaux de cette impureté en le faisant digérer dans la capsule même où il se trouve avec de l'alcool à 80 degrés, durant vingt-quatre heures ; l'alcool dissout les matières étrangères et laisse intact, cristallisé, presque incolore, le succinate de chaux, qui peut être regardé alors comme suffisamment pur. Recueilli ensuite sur un filtre taré, il est desséché et pesé.

Quant à la glycérine, elle est également pesée après avoir évaporé très-doucement dans une capsule tarée le liquide alcoolique qui la tient en dissolution. Cette évaporation s'achève encore dans le vide sec où la glycérine ne doit être maintenue que deux ou trois jours, car elle y diminue de poids, même à la température ordinaire, lorsqu'elle est privée d'eau (1).

(1) Lorsque la glycérine s'est desséchée dans le vide, si on l'y maintient elle diminue encore de poids. En la pesant chaque jour à partir de ce mo-

On obtient ainsi toute la glycérine du liquide fermenté sans perte sensible, et elle peut être regardée comme pure si elle provient d'un liquide fermenté sous l'influence d'une quantité suffisante et non exagérée de levûre de bière (1). Lorsque l'on emploie trop de levûre, beaucoup plus qu'il n'en faut pour la proportion de sucre mise en expérience, la pureté de la glycérine s'en ressent, parce que la levûre renferme une très-petite quantité de principes qui sont solubles dans le mélange d'alcool et d'éther (2). La saveur de la glycérine en avertit bien vite. Il faut extrêmement peu de ces produits étrangers pour lui donner une saveur amère et piquante. Elle doit également se dissoudre sans résidu dans l'alcool absolu ou dans un mélange d'alcool et d'éther. Je le répète, l'impureté ne provient que des matières dont je viens de parler et on est en quelque sorte maître de les

ment, on trouve qu'elle diminue sensiblement de la même quantité pour un même temps de séjour dans le vide. Cette perte s'élève en été à 12 ou 15 milligrammes par vingt-quatre heures pour un poids de 3 grammes environ de glycérine.

(1) Si la fermentation n'a pas été complète, la glycérine renferme une très-minime quantité de sucre incristallisable dissous par le mélange d'alcool et d'éther. On le reconnaît facilement par la liqueur de cuivre de Fehling.

(2) 250 grammes de levûre en pâte (renfermant 40 grammes de matière sèche à 100 degrés) ont été mis à bouillir avec un litre d'eau pendant plusieurs heures. On a filtré, évaporé la liqueur limpide et traité l'extrait séché dans le vide par le mélange d'alcool et d'éther. Le résidu du liquide alcoolique éthéré a été de 0^{gr},739, soit 1^{gr},847 pour 100 grammes de levûre sèche. Or on peut faire fermenter à la rigueur 100 grammes de sucre en n'employant que 1 gramme de levûre supposée sèche. La levûre n'introduit donc par elle-même dans la liqueur qu'une quantité de matière très-minime, capable de souiller ultérieurement la glycérine recueillie suivant la méthode que j'ai indiquée. Bien plus, la matière dont je parle ne se redissout pas à beaucoup près totalement dans un traitement nouveau par le mélange d'alcool et d'éther. Or dans la méthode que j'ai donnée pour extraire la glycérine il y a deux traitements successifs par le mélange d'alcool et d'éther.

Cette matière, que le mélange alcoolique éthéré sépare de l'extrait de levûre, est très-complexe. Elle contient de petites quantités de glycérine et d'acide succinique, parce que la levûre sort toujours d'un liquide fermenté. Son aspect est celui d'une substance cireuse, jaune; elle a une odeur parti-

diminuer autant que l'on veut, et dans tous les cas de les doser à part pour les défalquer du poids total de glycérine obtenue. La fermentation ne donne par elle-même aucun produit qui puisse altérer la pureté de la glycérine extraite comme je viens de le dire (1).

§ III. — *Application de la méthode d'analyse précédente à un exemple particulier.*

Je mets à fermenter dans un flacon muni d'un tube à gaz plongeant dans l'eau :

Sucre candi.	100 ^{gr} ,000
Eau pure.	700, 000
Levûre humide.	6, 254

culière qu'elle communique à la glycérine des fermentations, ou plutôt à l'atmosphère des cloches dans lesquelles on la dessèche. Sa saveur est très-piquante, et dès qu'elle entre dans la glycérine en quantité un peu sensible, elle lui donne une saveur désagréable et augmente sa viscosité. Elle boursoiffe et se charbonne beaucoup par la calcination en laissant très-peu de cendres alcalines solubles.

Enfin cette substance est très-soluble dans l'eau, à l'exception d'une très-petite quantité de matière grasse qui se dépose sous forme de vernis invisible sur toute la hauteur des parois des capsules pendant l'évaporation des liquides. Cet effet est dû à ce que la matière grasse forme une mince pellicule à la surface de l'eau, qui se dépose peu à peu durant l'évaporation sur les parois des capsules au niveau qu'occupe successivement le liquide.

(1) Lorsque j'ai reconnu pour la première fois la glycérine parmi les produits de la fermentation alcoolique, je n'avais d'autre moyen de l'obtenir pure que de distiller dans le vide, vers 200 degrés, le résidu de l'évaporation des liquides fermentés. Voici une analyse de la glycérine préparée de cette manière, ayant une saveur franchement sucrée avec un arrière-goût empyreumatique :

Poids de matière.	0,421
Acide carbonique.	0,605
Eau.	0,336

d'où l'on déduit :

	Trouvé.	Calculé.
Carbone.	39,21	39,13
Hydrogène.	8,86	8,69

La fermentation dure très-longtemps, parce qu'il y a très-peu de levûre.

Une autre portion de la même levûre pesant 8^{gr},254, desséché à 100 degrés, laisse un résidu de 1^{gr},582.

Les 6^{gr},254 de levûre employée ne renfermaient donc que 1^{gr},198 de matière sèche.

Lorsque la cessation de tout dégagement de gaz et l'essai à la liqueur cuivrique eurent indiqué que tout le sucre avait disparu, le liquide fut filtré et le dépôt de levûre recueilli sur un filtre taré, puis pesé après dessiccation à 100 degrés.

Le liquide, évaporé avec les ménagements que j'ai indiqués, devient sirupeux et se remplit de longs cristaux feuilletés d'acide succinique. La cristallisation de cet acide n'a lieu que dans des cas exceptionnels, lorsque l'on a employé très-peu de levûre. C'est qu'alors les matières albuminoïdes cédées par la levûre au liquide fermenté sont en quantité relativement faible. La cristallisation de l'acide succinique n'a pas lieu si la levûre a fourni beaucoup de matières solubles.

Le résidu de l'évaporation dans le vide sec est traité par le mélange d'alcool et d'éther à diverses reprises. Il laisse une masse brune, plastique, qui, reprise par l'eau et desséchée, constitue une matière très-complexe, dont la teneur en azote était dans le cas actuel de 3,8 pour 100.

Dissoute dans de l'eau sucrée, elle peut y produire un commencement de fermentation alcoolique si l'on y sème quelques globules de levûre frais. Elle a les propriétés générales de l'extrait d'eau de levûre et une composition analogue (1).

(1) Cet extrait du liquide fermenté est hygrométrique, a souvent une odeur de caramel ou de pain grillé. Ses propriétés physiques et chimiques se rapprochent de celles de l'extrait de l'eau de lavage de la levûre ordinaire, mais elles s'en éloignent d'autant plus que la fermentation a plus épuisé la levûre, qu'il y avait moins de levûre et plus de sucre en présence. C'est qu'il y a

Le liquide alcoolique éthéré évaporé a été neutralisé par l'eau de chaux, il a exigé pour la saturation 0,350 de cette base. S'il n'y avait que de l'acide succinique, cette proportion de chaux en accuserait 0^{gr},737.

Le liquide saturé, évaporé avec les ménagements déjà décrits, est traité de nouveau par le mélange d'alcool et d'éther, qui cette fois ne dissout que la glycérine et ne touche pas au succinate de chaux. Ce sel est tout à fait insoluble dans le mélange alcoolique éthéré. Le nouveau liquide tenant en solution la glycérine est évaporé avec les mêmes soins. Après plusieurs jours de dessiccation dans le vide, la glycérine pèse 3,640. Analysée dans cet état sans autre purification, elle a donné les résultats suivants :

0^{gr},410 de matière ont fourni 0,583 d'acide carbonique et 0,321 d'eau, nombres qui correspondent à

	Trouvé.	Calculé.
Carbone	38,78	39,13
Hydrogène	8,70	8,09

Quant au résidu laissé insoluble dans le dernier traitement par l'alcool et l'éther, il est grenu, cristallin et souillé par places d'une matière cornée hygrométrique, qu'il est facile d'enlever en laissant digérer le sel sec avec de l'alcool à 80 degrés pendant une nuit à la température ordinaire. Il est inutile d'agiter. On recouvre seulement la capsule d'une lame de verre.

Il reste alors du succinate de chaux cristallisé, à peine coloré, et offrant exactement, après dessiccation dans l'étuve à huile, la composition du succinate de chaux,

pendant la fermentation échange continuel entre les parties solubles et insolubles de la levûre. L'extrait du liquide fermenté renferme de moins en moins de phosphate de magnésie. Ce sel fait peu à peu partie de la levûre nouvelle sous l'influence de laquelle s'effectue la fermentation. Enfin l'extrait du liquide fermenté est d'autant moins propre à la fermentation, qu'il provient d'une fermentation où la levûre a été plus épuisée.

$C^3H^3O^6$, 2 CaO (1). Son poids était égal à 0,890, ce qui correspond à 0,673 d'acide succinique. Le poids de chaux nécessaire pour la saturation correspondait au contraire, ainsi que je l'ai fait remarquer, à 0,737 d'acide succinique. La différence tient à ce qu'une petite quantité de la chaux est employée à saturer, outre l'acide succinique, cette matière incristallisable (jouant le rôle d'acide à équivalent élevé) qui souille le succinate de chaux et que l'on enlève par l'alcool à 80 degrés. C'est une substance qui prend naissance pendant la fermentation par suite des mutations qui s'accomplissent dans les principes de la levûre. Son poids n'atteint que 1 à 2 décigrammes à l'ordinaire pour une fermentation de 100 grammes de sucre ; mais sa proportion varie avec le poids de levûre employé, et il y en a d'autant plus que l'on a employé moins de levûre. Ainsi dans le cas actuel son poids s'est élevé jusqu'à 0^{gr},500. Cette

(1) Le succinate de chaux, traité par un peu d'acide sulfurique et repris par l'alcool, cède facilement son acide.

Cristallisé et desséché dans l'air sec, cet acide, qui offre toutes les propriétés physiques et chimiques de l'acide succinique ordinaire, a donné les résultats suivants à l'analyse :

Poids de matière.....	0,5345
Acide carbonique.....	0,793
Eau.....	0,254

d'où l'on déduit :

Carbone.....	40,45
Hydrogène.....	5,27
Oxygène.....	54,28
	<hr/>
	100,00

La formule



de l'acide succinique cristallisé exige :

Carbone.....	40,68
Hydrogène.....	5,08
Oxygène.....	54,24
	<hr/>
	100,00

circonstance est remarquable, parce qu'elle tend à faire croire que la matière qui souille le succinate de chaux est le produit de l'altération des globules de levûre. Moins on emploie de levûre, plus il y a de désorganisation dans les globules, et plus augmente le poids des matières qui sont le produit de cette désorganisation.

En résumé nous avons employé :

100 grammes de sucre et 1, 198 de levûre, et nous avons obtenu après la fermentation

Acide succinique, $C^2H^2O^2$	0,673
Glycérine	<u>3,640</u>
Total	4,313

Nous verrons bientôt que la proportion de sucre qui échappe à l'équation de Lavoisier et de Gay-Lussac est sensiblement plus élevée que ne l'indique ce résultat. Un poids de sucre assez notable se transforme encore en d'autres produits différents de l'acide succinique et de la glycérine.

Mais auparavant recherchons si la levûre prend part à la formation des nouvelles substances que nous venons de reconnaître parmi les matériaux ordinaires de la fermentation alcoolique.

§ IV. — *Les éléments de l'acide succinique et de la glycérine sont empruntés au sucre. La levûre n'y prend aucune part.*

Que les éléments de la glycérine soient fournis par ceux du sucre et que la levûre n'y ait point de part, la chose est assez prouvée par la comparaison des poids de glycérine et de levûre dans l'expérience précédente. On n'avait employé que 1, 198 de levûre et on a recueilli 3,6 de glycérine.

Mais pour l'acide succinique cela est moins évident. L'expérience suivante a été disposée de manière à fournir un poids d'acide succinique supérieur au poids total des principes du ferment. Elle est tout à fait décisive.

A une solution de 100 grammes de sucre candi pur j'ai ajouté un poids total de matières albuminoïdes et minérales, égal à 0^{gr},385, propres à la multiplication des globules de levûre. Il suffit, pour se procurer de telles matières et en connaître le poids, de faire bouillir de la levûre fraîche avec de l'eau distillée, de filtrer la liqueur que l'on partage en deux portions, dont l'une est évaporée à siccité et desséchée à 100 degrés, afin de connaître la quantité totale de matière que renferme la liqueur sous un volume déterminé.

Cette matière soluble est ou ne peut plus propre à la multiplication des globules de levûre, si elle est mêlée préalablement à de l'eau sucrée et qu'on y sème ensuite quelques globules de levûre frais (1).

A la liqueur formée de 100 grammes de sucre et de 0^{gr},385 de matières albuminoïdes et minérales, j'ai ajouté, suivant ces prescriptions, une quantité très-minime et pour ainsi

(1) M. Colin est, je crois, le premier chimiste qui ait remarqué que l'eau de lavage de la levûre était une très-bonne source de ferment. Dans un travail fort intéressant qui fut un complément indispensable de l'hypothèse de Fabroni et du Mémoire de M. Thenard, M. Colin, partant de faits isolés alors dans la science, fit voir que l'on pouvait alcooliser des liqueurs sucrées en employant de la pâte de farine, du gluten, de la viande de bœuf, du blanc d'œuf, du fromage, de l'urine, de la colle de poisson, du sang, ... Mais, des diverses substances employées par M. Colin, c'est l'eau de lavage des levûres de bière ou de raisin, ou leur extrait, qui convenait le mieux à la fermentation.

C'est probablement en s'appuyant sur ces derniers résultats que beaucoup de personnes ont pensé que c'était dans la partie liquide des globules de levûre que résidait leur pouvoir fermentant. Il est bien facile de se convaincre qu'il n'en est rien. La fermentation ne commence à se montrer qu'au moment où il y a des globules de levûre tout formés. La partie liquide des globules n'est qu'un aliment propre au développement de ces globules, au même titre qu'une foule de matières albuminoïdes. Il n'y a pas une seule de ces matières qui ne puisse, si par elle-même elle n'y est déjà propre, se modifier spontanément par la production de champignons microscopiques ou d'infusoires de manière à devenir apte à servir d'aliment à la levûre de bière. Toutes les substances à l'aide desquelles M. Colin a réussi à provoquer la fermentation alcoolique du sucre n'ont été dans ses expériences que l'aliment azoté de la levûre qui avait pris naissance *spontanément*.

dire impondérable de levûre fraîche. Les globules se sont multipliés en assimilant du sucre et des matières minérales et albuminoïdes, et corrélativement le sucre a fermenté.

Le sucre étant en grand excès, la fermentation a duré plusieurs mois sans être achevée. J'y ai mis fin lorsqu'elle était assez avancée pour le but que je me proposais d'atteindre.

Par un dosage effectué à l'aide de la liqueur cuivrique, j'ai vu qu'il restait encore dans la liqueur 30^{gr},941 de sucre. J'ai reconnu ensuite qu'il s'était formé 0,47 d'acide succinique : c'est-à-dire que le poids d'acide succinique surpassait le poids total de matière soluble de levûre employée.

D'autre part, le dépôt de levûre pesait 0^{gr},400 après dessiccation à 100 degrés.

L'acide succinique vient donc du sucre aussi bien que la glycérine.

Les éléments de la levûre ne prennent aucune part à la formation de ces produits.

§ V. — *La glycérine, l'acide succinique, l'alcool et l'acide carbonique ne sont pas les seuls produits de la fermentation alcoolique.*

Revenons au dosage des différentes matières de la fermentation déjà étudiée précédemment au § III, et occupons-nous principalement des matériaux de la levûre et de la part que le sucre peut avoir dans les mutations de ses tissus.

Le poids total de la levûre employée était 1,198.

Or, en déterminant, 1° le poids de levûre déposée après l'avoir recueillie sur un filtre taré et l'avoir desséchée à 100 degrés, 2° le poids de matière extractive insoluble dans le premier traitement par l'alcool et l'éther, 3° le poids de matière qui souillait le succinate de chaux et que nous avons enlevée par l'alcool à 80 degrés, j'ai trouvé (toutes les pesées ayant été faites à 100 degrés dans les mêmes con-

ditions jusqu'à ce que les poids soient devenus invariables) :

Levûre, — dépôt après la fermentation . . .	1,700
Extrait insoluble dans l'alcool et l'éther . . .	0,631
Matière souillant le succinate de chaux . . .	0,500
	<u>2,831</u>

Si l'on défalque le poids primitif de la levûre, 1^{er},198, on trouve 1^{er},633 qui est l'excès du poids de la levûre et de ses matières solubles après la fermentation, sur ce qu'ils étaient auparavant. 100 grammes de sucre ont donc cédé plus de 1 $\frac{1}{2}$ gramme à la levûre (1).

Nous verrons que dans ce poids entre pour une bonne part la cellulose des nouveaux globules qui se sont formés pendant la fermentation elle-même. Quoi qu'il en soit, nous voyons que la levûre prend quelque chose au sucre, et si nous ajoutons ce que le sucre cède de ce côté, aux poids de glycérine et d'acide succinique, nous trouvons :

Glycérine	3,640
Acide succinique	0,673
Cellulose et matières indéterminées (2) . . .	1,633
	<u>5,946</u>

(1) Il est rare que le sucre cède à la levûre un poids de matière aussi élevé.

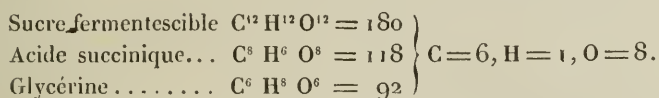
Cela n'arrive que dans les cas de fermentation avec excès de sucre. Ordinairement le résultat oscille de 1,0 à 1,5 et il peut descendre un peu au-dessous de 1,0 pour 100 du poids du sucre, dans les fermentations en présence des matières albuminoïdes, sans autre emploi de levûre que celle qui est nécessaire pour provoquer une fermentation alcoolique régulière.

(2) Dans les nombreuses analyses que j'ai faites des liquides de fermentations du sucre de canne, le rapport des poids de l'acide succinique et de la glycérine a été assez égal pour que j'attribue les divergences des résultats aux erreurs inévitables du mode d'analyse. Cependant il m'est arrivé, une seule fois il est vrai, de trouver une proportion d'acide succinique qui était très-sensiblement différente du rapport ordinaire avec la glycérine. Voici le détail de l'analyse de cette fermentation: 100 grammes de sucre candi ont été mis à fermenter avec 10 grammes de levûre lavée en pâte. Le liquide fer-

Nous n'avons pas fini encore avec cette étude des transformations que le sucre éprouve en dehors de l'équation théorique, $C^{12}H^{12}O^{12} = 4CO^2 + 2C^4H^6O^2$. Poursuivons-la dans une autre direction fort intéressante.

§ VI. — *De l'équation de la fermentation alcoolique.*

Un examen attentif des résultats qui précédent conduit bien vite à une réflexion importante. Comparons les formules du sucre, de l'acide succinique et de la glycérine.



On voit immédiatement que l'acide succinique est moins hydrogéné que le sucre et que la glycérine l'est davantage, et qu'en faisant la somme des équivalents de l'acide succinique et de la glycérine, le carbone, l'hydrogène et l'oxygène se trouvent dans les rapports où ils existent dans le sucre.

En d'autres termes, si l'analyse des produits de la fermentation alcoolique nous avait donné des poids de glycérine et d'acide succinique qui fussent dans le rapport de 92 gly-

menté filtré, évaporé avec les soins nécessaires, a exigé pour sa saturation 180 centimètres cubes d'une eau de chaux dont 28^{cc},9 correspondaient à 0,06125 d'acide sulfurique. Le succinate de chaux cristallisé et purifié a été recueilli plus tard et a donné 0,427 d'acide succinique. Le poids de glycérine s'est élevé au contraire à 38^r,20. Si le rapport ordinaire de l'acide succinique à la glycérine eût été réalisé dans cette fermentation, le poids d'acide succinique eût été de 0^r,6 environ au lieu de 0^r,4. Je n'ai pu me rendre compte de ce résultat exceptionnel. Aucune circonstance ne m'en a donné l'explication.

Le poids de matière souillant le succinate de chaux avant sa pesée, et qui avait été enlevée par l'alcool à 50 degrés, a été de 0^r,165, et le poids d'extract du liquide fermenté insoluble dans le mélange d'alcool et d'éther, de 0^r,874.

L'examen microscopique de la levûre n'a accusé la formation d'aucune levûre étrangère.

cérine et 118 acide succinique, il serait facile de comprendre que le sucre peut être la source de ces deux produits. Mais, tout au contraire, le rapport des poids de la glycérine et de l'acide succinique, au lieu d'être $\frac{92}{118} < 1$, est à peu près $\frac{3,5}{0,7} = 5$.

Il est donc matériellement impossible que le sucre donne de l'acide succinique et de la glycérine dans les proportions précédentes sans fournir en même temps un autre produit soit beaucoup moins hydrogéné, soit beaucoup plus oxygéné que le sucre lui-même. Mais où rencontrer ce produit très-oxygéné? Son poids sera relativement considérable à cause de la grande différence entre les proportions de la glycérine et de l'acide succinique. Il est facile de voir par la comparaison des formules du sucre, de la glycérine, de l'acide succinique que le poids du corps dont l'existence est commandée par les proportions relatives de ces deux derniers produits, doit s'élever à plus de 1 gramme, à moins que ce ne soit de l'acide carbonique, auquel cas son poids pourrait être moindre.

Ces réflexions, jointes aux résultats de mes analyses des produits solides de la fermentation, me portèrent à croire que l'équilibre entre l'acide succinique et la glycérine devait être rétabli par les substances volatiles de la fermentation, et celles-ci étant formées d'eau, d'alcool et d'acide carbonique, la compensation cherchée ne pourrait être due qu'à l'acide carbonique. Le dosage exact de ce gaz offrirait donc un intérêt particulier.

Bien plus qu'on ne serait disposé à le croire, ce dosage rigoureux est fort difficile (1).

(1) Bien que je ne donne pas dans le cours de ce Mémoire de dosages d'alcool des fermentations, j'en ai effectué plusieurs avec de très-grands soins et j'ai toujours trouvé par leurs indications une perte de 6 pour 100 de sucre,

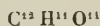
J'ai essayé bien des méthodes : une seule, la plus simple

c'est-à-dire que 6 pour 100 du poids du sucre ne donnaient pas d'alcool.

J'ai essayé vainement de doser l'alcool des fermentations par une analyse organique. Le procédé ordinaire de la distillation du liquide fermenté m'a paru, à défaut d'autres, le meilleur et assez exact. Il faut seulement avoir soin de placer deux ou trois flacons laveurs à la suite du vase de fermentation, pour retenir autant que possible la vapeur d'alcool emportée par l'acide carbonique. Afin de chasser l'acide carbonique dissous dans le liquide fermenté, j'opérais la distillation après addition d'un excès d'eau de baryte. Quant à la détermination de la quantité d'alcool du liquide distillé, voici un moyen qui m'a paru extrêmement sensible. Connaissant d'une manière approchée, d'après le poids du sucre mis en fermentation, la quantité d'alcool formée, je pèse deux portions d'alcool absolu aussi voisines que possible et comprenant entre elles le poids présumé d'alcool à trouver. Je porte ces deux poids d'alcool chacun au volume total du liquide fermenté; puis, à la même température, je place alternativement et par comparaison un alcoomètre quelconque, bon ou mauvais, pourvu qu'il soit sensible, dans les trois liqueurs. Le dosage est terminé quand je trouve que l'un des liquides artificiels donne la même indication que le liquide distillé. Voici une fermentation dans laquelle on a déterminé l'alcool et les autres produits. Le 21 mai on place à l'étuve 9^{sr},998 de sucre candi avec 2^{sr},026 de levûre en pâte et 100 grammes d'eau. Le 1^{er} juin la liqueur de cuivre n'accuse plus trace de sucre. Au microscope, pas de levûre lactique ou autre. En opérant comme je l'ai dit tout à l'heure, on a trouvé 5^{sr},100 d'alcool. L'acide carbonique n'a pu être recueilli. Calculé d'après les résultats de la fermentation de la page 28, effectuée sur 1,440 de sucre, on en déduit que les 9^{sr},998 ont dû fournir 4^{sr},911 d'acide carbonique. On a recueilli en outre 0,34 de glycérine, 0,065 d'acide succinique et 0,13 de cellulose et de matières indéterminées. En résumé, 9^{sr},998 de sucre candi ont donné :

Alcool absolu.....	5,100
Acide carbonique.....	4,911
Glycérine.....	0,34
Acide succinique.....	0,065
Cellulose et matières indéterminées..	0,13
Total.....	10,546

Or, 9,998 sucre candi de formule

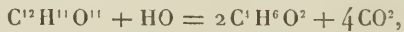


fournissent 10,524 de sucre, $C^{12} H^{12} O^{12}$. La différence 10,546—10,524=0,022 est très-faible et dans le sens des résultats généraux de mon travail, parce que la portion de sucre candi qui se transforme en acide succinique, glycérine et acide carbonique fixe bien plus d'eau que si elle passait à l'état de sucre, $C^{12} H^{12} O^{12}$, pour obéir ensuite à l'équation théorique de Lavoisier et Gay-Lussac.

de toutes, m'a réussi, et je la crois seule praticable avec succès. C'est celle qui consiste à faire fermenter le sucre dans un vase jaugé, primitivement plein de mercure, où l'on introduit successivement les matériaux de la fermentation. Malheureusement elle exige que l'on opère sur un poids de sucre assez minime, par la difficulté de manier sur le mercure des vases d'une grande capacité. Ceux dont je me suis servi avaient un volume de 350 à 450 centimètres cubes, le col compris. Voici les détails d'une expérience :

Un ballon à long col gradué est renversé sur le mercure. J'y fais passer en premier lieu 1^{sr},440 de sucre candi ; puis, à l'état de pâte un peu ferme et sous forme de boulette, 0^{sr},3 de levûre lavée fraîche. Enfin j'introduis dans le ballon 8^{sr},980 d'eau à 15 degrés, puis je porte à l'étuve de 25 à 33 degrés.

Quinze jours après, la fermentation est terminée, et je me suis assuré en effet ultérieurement par la liqueur de cuivre qu'il n'y avait plus traces de sucre. Si l'équation



était celle de la fermentation alcoolique, 1,440 de sucre candi devraient donner 374^{cc},8 de gaz carbonique à 0 degré et 760 de pression. Or après toutes les corrections de température et de pression, j'ai trouvé, pour le volume du gaz à 0 degré et à 760, un volume égal à 358^{cc},0.

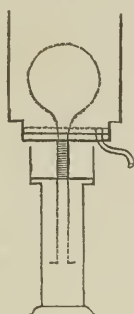
La différence avec le volume théorique est de 16^{cc},8. 16^{cc},8 d'acide carbonique pèsent 0^{sr},0332 et correspondent à 0^{sr},0645 de sucre candi. De telle sorte qu'en partant du dosage de l'acide carbonique on trouve que sur les 1^{sr},440 de sucre candi employé, il y en a 0^{sr},0645 qui ont disparu sans obéir à l'équation théorique. Cela correspond à une

perte de 4,4 pour 100 du poids du sucre mis en expérience (1).

Cela posé, voyons si ce résultat s'accorde avec l'analyse

(1) Ces expériences sont fort délicates. Il faut en faire les mesures en hiver lorsque la température est voisine de zéro, afin que les corrections aient la plus faible valeur. Mieux encore et en toute saison, on se sert d'un manchon de fer-blanc qui permet d'entourer de glace le ballon. On commence par mastiquer une large rondelle de liège sur le col du ballon renversé. Le manchon est alors adapté sur ce liège. Un tube de verre fixé dans le liège donne issue à l'eau de fusion de la glace.

Fig. 1.



Il est bon de disposer le liège à une telle hauteur, que toute la partie du ballon occupée par le gaz soit entièrement plongée dans la glace, et que le liquide fermenté soit logé dans la portion du goulot située entre le liège et le niveau du mercure dans l'éprouvette, lorsque le niveau du mercure est le même à l'intérieur du ballon et à l'extérieur dans l'éprouvette.

Si le liquide fermenté était en partie plongé dans la glace on ne connaîtrait pas sa température et il y aurait incertitude sur la correction relative à la solubilité de l'acide carbonique dans ce liquide.

Cette dernière correction est la plus délicate. Pour la faire, j'ai toujours employé un liquide ayant la composition présumée du liquide fermenté et obtenu par mélange direct d'eau, d'alcool, d'acide succinique et de glycérine, sur lequel j'étudiais à part la solubilité de l'acide carbonique dans les conditions de température où se trouvait le liquide du ballon. La solubilité a toujours été plus faible que dans l'eau pure.

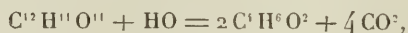
Pour la correction de la tension de la vapeur aqueuse ou alcoolique, je me suis contenté de celle donnée dans les tables pour la vapeur d'eau. En opérant à zéro, elle est toujours assez faible pour qu'il n'en résulte pas une erreur sensible, bien que le liquide ne soit pas de l'eau pure.

du liquide fermenté qu'il est facile de recueillir sans perte. Je me suis d'abord assuré qu'il n'y restait pas traces de sucre. Après filtration et évaporation ménagée, je l'ai saturé par l'eau de chaux. Il a fallu 4^{cc},3 d'une eau de chaux dont 28 centimètres cubes neutralisent 0,06125 d'acide sulfurique, SO³, HO. On déduit de ces données et en ramenant à 100 de sucre, qu'il s'est formé 0,784 d'acide succinique, nombre qui doit être un peu élevé, comme nous le savons, parce qu'une petite quantité de la chaux est saturée par un autre acide que l'acide succinique. La levûre elle-même apporte un peu d'acide. Il a fallu 0^{cc},3 d'eau de chaux pour saturer les acides d'un poids de levûre égal à celui de la levûre employée. Tout cela réduit la proportion d'acide succinique à 0,7 pour 100 du poids du sucre.

La glycérine a été déterminée avec soin, elle pesait 0^{gr},0505, ce qui correspond à 3,5 pour 100 du poids du sucre.

Les proportions des différents produits de la fermentation sont ici à peu de chose près ce qu'ils étaient dans la fermentation de 100 grammes de sucre dont nous avons détaillé précédemment l'analyse.

Ce n'est donc pas une perte de 4,4 pour 100 du poids de sucre que nous devrions trouver par le dosage de l'acide carbonique, mais une perte de 6 pour 100 environ, parce qu'il faut ajouter à la glycérine et à l'acide succinique, d'une part l'augmentation du poids de la levûre, de l'autre les matières destinées à rétablir l'équation entre le sucre, l'acide succinique et la glycérine. La différence entre le résultat théorique et le résultat expérimental aurait dû être de 22^{cc},2 au lieu de 16^{cc},8. Différence = 5^{cc},4. L'erreur sur le volume de l'acide carbonique ne pouvant être à beaucoup près de cet ordre, il faut admettre nécessairement qu'il y a plus d'acide carbonique formé que n'en exige l'équation



appliquée au poids total de sucre 1^{er},440 diminué des $\frac{6}{100}$ de ce poids. En d'autres termes, la réaction qui donne l'acide succinique et la glycérine fournirait, prise à part, une certaine proportion d'acide carbonique. Nul doute que l'équilibre entre l'acide succinique et la glycérine d'une part, et le sucre de l'autre, ne soit rétabli par cet excès de gaz carbonique. Non-seulement nous pouvions pressentir ce résultat par la différence des proportions de glycérine et d'acide succinique et l'absence de toute matière solide fort oxygénée parmi les autres produits de la fermentation, mais le dosage de l'acide carbonique seul établit matériellement qu'il se forme un volume de ce gaz supérieur à celui qu'exige l'équation de Lavoisier et de Gay-Lussac appliquée à tout le sucre qui peut la subir.

Il reste néanmoins à chercher entre les éléments du sucre et ceux de l'acide succinique, de la glycérine et de l'acide carbonique une équation qui puisse être regardée, sinon comme l'expression rigoureuse des faits, au moins comme leur expression très-approchée. « Je me suis fait une loi, » dit M. Chevreul, dans mes analyses immédiates de re-
 » connaître d'une manière aussi rigoureuse que le permet
 » l'état actuel de la science, la composition des corps sépa-
 » rés par l'analyse. » « On ne saurait trop répéter, ajoute l'il-
 » lustre chimiste, qu'une analyse n'est satisfaisante qu'au-
 » tant que l'on a séparé d'une quantité donnée de matière
 » tout ce qu'il est possible d'en isoler, et que les produits
 » séparés, réduits à des espèces chimiques déterminées, re-
 » présentent par leurs poids respectifs le poids de la matière
 » analysée. » Je me suis efforcé de suivre ces sages précep-
 tes. Il est aussi utile que nécessaire de se persuader que
 l'esprit n'est satisfait, ainsi que le dit M. Chevreul, qu'à la
 condition de leur application sévère dans toutes les recher-
 ches analytiques.

L'équation suivante concorde avec les résultats des analyses. Je n'oserais cependant la donner comme exacte ; mais il est probable qu'elle est peu éloignée de la vérité et qu'elle se simplifierait si l'on pouvait y faire entrer plus complètement les détails du phénomène. Je n'ai pas la confiance de croire que j'ai réussi à mettre en évidence tous les produits de la fermentation alcoolique dans des rapports rigoureux. Je n'ai pu m'occuper que de ceux qui interviennent pour une part appréciable à la balance ou aux mesures de volumes.

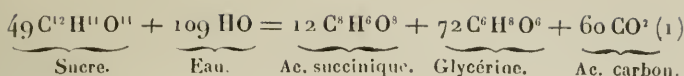
Ce qui importe surtout ici est l'équation de fait, matérielle, entre le sucre et la somme des principaux produits. Quant à l'équation chimique formulée en équivalents, est-il bien possible de l'établir pour un acte aussi compliqué. Au moment où il se fait de l'alcool, il se forme simultanément de l'acide carbonique, de l'acide succinique, de la glycérine, de la cellulose, de la matière grasse et sans doute beaucoup d'autres substances peut-être aussi essentielles que ces deux dernières à la vie des globules et par suite au phénomène de transformation chimique du sucre, bien que leur poids total doive être extrêmement minime.

La science est trop peu avancée pour espérer mettre en équation rigoureuse un acte chimique corrélatif d'un phénomène vital.

Cependant je reconnais que des doutes s'élèveraient sur l'exactitude de mes résultats, s'il n'était pas possible d'établir une équation entre le sucre et les principales matières qui accompagnent l'acide carbonique et l'alcool, puisque de leur côté ces deux derniers produits paraissent former équation avec une portion du sucre. C'est à ce point de vue et avec ces réserves que l'équation suivante mérite d'être mentionnée.

On trouve que 4,5 de sucre candi en se détruisant se-

lon l'équation



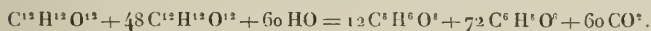
fournissent

Acide succinique.....	0,760
Glycérine.....	3,607
Acide carbonique.....	0,708
Total.....	5,075

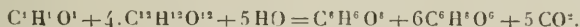
Ces nombres, en ce qui concerne la glycérine et l'acide succinique, diffèrent peu de ceux de l'expérience, pour une fermentation de 100 grammes de sucre. Quant à la proportion de l'acide carbonique, c'est bien également celle qui est exigée. En effet, si l'on prend les 0,708 centièmes de 1^{er},440 qui est le poids de sucre de la fermentation que nous avons examinée tout à l'heure, on trouve 0^{er},010. Or 0^{er},010 d'acide carbonique représentent 5 centimètres cubes de gaz carbonique. C'est précisément l'excès de volume de ce gaz dans cette fermentation, calculé d'après les poids des matières autres que l'alcool et l'acide carbonique qui lui correspond.

Tout s'accorde donc pour nous faire admettre qu'indépendamment de l'acide succinique, de la glycérine et des

(1) Cette équation peut s'écrire :



Sous cette forme, en divisant tous les termes par 12, on a



Ne se pourrait-il pas qu'une petite quantité de cellulose et d'eau, représentée par le poids $\text{C}^1 \text{H}^1 \text{O}^1$, intervient avec un poids de sucre égal à $4 \text{C}^{12} \text{H}^{12} \text{O}^{12}$ pour former, en assimilant 5 HO, les proportions d'acide succinique, de glycérine et d'acide carbonique indiquées dans le second membre de cette dernière équation?

P.

3

autres produits que nous examinerons ultérieurement, et au nombre desquels se trouve la cellulose, il se forme de l'acide carbonique intimement lié à l'existence de l'acide succinique et de la glycérine, et rétablissant l'équation entre ces produits et le sucre.

§ VII. — *Addition au paragraphe précédent.*

J'avais terminé les dosages du gaz acide carbonique produit pendant la fermentation, et dont il vient d'être parlé, lorsque je reconnus un fait très-inattendu qui m'inspira quelques doutes sur les mesures et les conséquences du paragraphe précédent. J'arrivai à ce résultat que la levûre mise en excès en présence d'une très-petite quantité de sucre, après l'avoir transformé à la manière ordinaire, exerce son activité sur ses propres tissus avec une grande énergie et fournit ainsi des quantités relativement considérables d'acide carbonique et d'alcool. Je me demandai naturellement si l'excès de gaz carbonique trouvé dans les expériences analogues à celles du paragraphe précédent ne pourrait pas être attribué à ce phénomène de fermentation des matières hydrocarbonées de la levûre postérieurement à la disparition du sucre.

Il y avait un moyen très-sûr de s'en rendre compte. C'était de produire la fermentation du sucre à l'aide d'une matière albuminoïde et d'une quantité en quelque sorte impondérable de levûre employée seulement comme semence. Il ne pourrait se former de cette manière que la quantité de levûre nécessaire au dédoublement du sucre; et dans tous les cas, comme la cellulose de la levûre qui prendrait naissance serait constituée par une portion du sucre, si elle venait à se décomposer elle-même partiellement, les produits de cette décomposition seraient en définitive originaires du sucre mis en fermentation.

Je refis donc une expérience semblable à celle décrite au paragraphe précédent sans employer de levûre ordinaire,

mais seulement les substances propres à la faire développer sous l'influence de quelques globules frais et adultes.

Dans un ballon de 400 centimètres cubes gradué sur son col, j'introduisis en premier lieu 1^{er},498 de sucre; puis 0^{sr},165 de matière albuminoïde et minérale dissoute dans 10^{cc},2 d'eau pure mêlée d'une quantité extrêmement petite de levûre fraîche. La fermentation fut achevée au bout de huit jours. Toutes corrections faites, le volume total du gaz carbonique à 0 degré et 760 de pression s'est trouvé égal à 372^{cc},8.

D'après l'équation théorique 1,498 de sucre candi devraient fournir 389^{cc},9; différence 17^{cc},1 de gaz carbonique. Cette différence correspond à 4,38 pour 100 de perte sur le poids du sucre. C'est le même résultat qu'au paragraphe précédent. La perte du sucre, calculée d'après le dosage de l'acide carbonique, est trop faible de 1,5 pour 100.

La cause d'erreur que je craignais n'existe donc pas, et nous pouvons admettre en toute sécurité que si l'on se sert d'une quantité de levûre qui n'est pas trop grande, après avoir fait fermenter le sucre, elle a assez perdu de son activité pour ne plus pouvoir se détruire partiellement elle-même, et tout l'acide carbonique dégagé dans ces conditions provient exclusivement du sucre mis en fermentation. Je reviendrai dans la deuxième partie de ce Mémoire sur ces faits remarquables, destinés à jeter une vive lumière sur la nature et la manière d'agir de la levûre de bière.

§ VIII. — *L'acide succinique et la glycérine sont des produits constants de la fermentation alcoolique.*

En suivant les méthodes que j'ai précédemment indiquées, j'ai analysé un nombre considérable de fermentations alcooliques effectuées dans les conditions les plus diverses. J'ai fait varier la température, la pression, les poids de levûre, les poids de sucre, la nature des sucres, l'origine et la nature des levûres, l'état de neutralité et d'acidité du

milieu. Je me suis servi de levûres tout organisées, d'autres fois je les ai fait naître spontanément par le contact de l'air à l'origine ou par la semence de globules frais de levûre adulte. Dans toutes ces circonstances si multipliées et si diverses, je n'ai jamais pu m'opposer à la formation soit de la glycérine, soit de l'acide succinique. Ce sont des produits constants de la fermentation alcoolique au même titre que l'acide carbonique et l'alcool (1). Nous verrons qu'il

(1) Le tableau suivant donne quelques résultats relatifs aux fermentations des principaux sucres fermentescibles.

	9,873 gr. de lactose. 20 cent. cubes d'eau de levûre. Traces de levûre.	9,948 gr. de lactose. 20 cent. cubes d'eau de levûre. Traces de levûre.	9,814 gr. de glucose. 20 cent. cubes d'eau de levûre. Traces de levûre.	9,976 gr. de sucre incrist. en sirop. 20 cent. cubes d'eau de levûre. Traces de levûre.	9,899 gr de sucre candi. 20 cent. cubes d'eau de levûre. Traces de levûre
Poids de levûre formée	0,191	0,192	0,170	0,136	0,152
Poids d'extrait restant dans le liquide fermenté	"	"	0,295	"	0,260
Poids d'acide succinique	"	0,075	0,066	0,058	0,68
Poids de glycérine	"	0,338	0,297	0,28	0,288
Durée de la fermentation	14 jours.	14 jours.	10 jours.	13 jours.	11 jours.

Les poids d'acide succinique sont un peu forts, parce qu'ils ont été calculés d'après le poids de chaux nécessaire pour la saturation.

Les poids d'extrait du liquide fermenté sont au contraire un peu faibles, parce qu'ils ne comprennent pas la portion qui se retrouve fixée sur le succinate.

J'appelle LACTOSE le sucre qui se forme par l'action des acides sur le sucre de lait. Celui-ci était cristallisé et perdait 2,8 pour 100 à 100 degrés.

Le glucose provenait du sucre de canne interverti par les acides. Il était bien cristallisé et a perdu 9,03 pour 100 après quatre jours à 100 degrés.

Le sucre incristallisable provenait du sucre de canne interverti par les acides. Le sucre abandonné deux années en sirop, après avoir éliminé l'acide, a donné du glucose cristallisé déviant à droite et du sirop incristallisable déviant à gauche. Les 9,976 de sirop renfermaient 6,93 de sucre $C^{12}H^{12}O^{12}$, déterminés par la liqueur de cuivre et la dessiccation à 100 degrés.

Les 20 centimètres cubes de levûre renfermaient 0,334 gr. de matière albuminoïde et minérale.

Il faut voir dans les résultats de ce tableau la preuve que tous les sucres donnent par la fermentation de l'acide succinique et de la glycérine.

Il serait nécessaire d'opérer sur des poids de sucre plus considérables si

faut y joindre une portion sensible de cellulose provenant

l'on voulait déterminer les variations des proportions d'acide succinique et de glycérine pour les divers sucres. Néanmoins comme les conditions des fermentations de ce tableau ont été rigoureusement les mêmes, je crois que l'on peut conclure : 1^o que ce sont le sucre incristallisable et le lactose qui donnent le plus de glycérine et d'acide succinique; 2^o que le sucre cand est celui qui exige la moindre formation de levûre pour sa fermentation complète; 3^o que le glucose est celui qui met le moins de temps à fermenter.

Je crois devoir ajouter ici que M. H. Rose a publié sur la fermentation comparée du glucose et du sucre de canne et les proportions de levûre nécessaires à la fermentation de ces sucres des résultats qui sont en désaccord évident avec plusieurs observations de mon travail, et que je regarde comme tout à fait exagérés (H. Rose, *Annales de Poggendorf*, tome LII; 1841.) D'après M. H. Rose, il faudrait huit fois plus de ferment avec le sucre de canne qu'avec le glucose pour y exciter la même fermentation, et avec des quantités égales mais faibles de levûre, la fermentation du glucose peut être achevée en quelques jours, tandis que celle du sucre de canne serait nulle, même après plusieurs mois. Le glucose fermente un peu mieux et plus promptement que le sucre de canne, mais la différence n'a rien d'excessif et les proportions de levûre exigées pour la fermentation complète des deux sucres sont tout à fait du même ordre.

On a beaucoup discuté sur la transformation préalable du sucre de canne en sucre de raisin dans la fermentation alcoolique. Le sucre, dit on, n'est pas directement fermentescible; il doit se transformer d'abord en sucre de raisin, et c'est dans la partie soluble de la levûre de bière que résiderait la faculté de transformation du sucre de canne.

Tout ce que l'on a écrit à ce sujet manque de preuves solides. Pour moi, je pense que la formation du sucre de raisin tient tout simplement à la production constante de l'acide succinique, que ce n'est qu'un phénomène accessoire et qu'il n'est nullement nécessaire que le sucre de canne devienne d'abord sucre de raisin pour éprouver la fermentation, à moins que l'on n'entende par là que le sucre de canne ne peut se dédoubler en alcool et en acide carbonique qu'après avoir assimilé l'équivalent d'eau.

En d'autres termes, je ne pense pas qu'il y ait dans les globules de levûre aucun pouvoir particulier de transformation du sucre de canne en sucre de raisin. Mais l'acide succinique étant un produit constant de la fermentation alcoolique, le sucre doit éprouver en sa présence l'effet qu'il éprouve en général par l'action des acides.

Il sera utile de rechercher si le mélitose, le tréhalose et le mélézitose, sucres fermentescibles, signalés dans ces derniers temps par M. Berthelot, donnent également de l'acide succinique et de la glycérine. Cela est extrêmement probable.

du sucre, et de la matière grasse, qui se fixent sur les globules dont l'organisation et le développement sont corrélatifs de toute fermentation alcoolique.

Il se présente ici une question délicate dont la solution définitive est bien difficile. L'habitude que nous avons d'envisager le phénomène de la fermentation alcoolique avec une grande simplicité, portera beaucoup de personnes à croire que la glycérine et l'acide succinique sont des produits accessoires de la fermentation alcoolique, peut-être corrélatifs d'une autre fermentation parallèle, accomplie sous une influence particulière et inconnue; et qu'il faudrait faire deux parts dans le sucre, l'une se dédoublant en alcool et acide carbonique, l'autre qui donnerait de la glycérine, de l'acide succinique, et de l'acide carbonique. Le dédoublement du sucre en alcool et acide carbonique resterait donc non-seulement possible théoriquement, mais serait encore réalisé dans l'acte de la fermentation alcoolique, où nous trouverions l'exemple de deux réactions chimiques simultanées s'accomplissant en vertu de forces distinctes (1).

Sans nul doute je m'arrêterais à cette manière de voir, si j'avais pu dans quelques cas particuliers faire fermenter un

(1) Si la glycérine et l'acide succinique étaient des produits d'une fermentation parallèle à la fermentation alcoolique, la levûre de bière, selon toute probabilité, se trouverait mélangée à quelque autre levûre pendant la fermentation. Mais les études microscopiques les plus multipliées m'ont appris que la levûre reste parfaitement homogène, sans aucun mélange, et que l'on n'y observe que des altérations dans la structure intérieure de ses globules. Si le microscope accuse autre chose que des globules de levûre de bière, on peut être assuré que c'est quelque nouvelle levûre qui a pris naissance par l'effet de circonstances accidentelles et anormales. La composition du milieu en avertit aussitôt. Les produits propres à ces levûres particulières se retrouvent en dissolution dans la liqueur. Mais l'acide succinique et la glycérine existent dans toutes les fermentations normales sans qu'aucune matière, différente de la levûre alcoolique, puisse expliquer leur formation.

sucré sans qu'il y eût production d'acide succinique et de glycérine. Mais, dans plus de cent analyses de fermentations effectuées dans les conditions les plus différentes, je n'ai jamais obtenu ce résultat. J'ai vu quelquefois diminuer ou augmenter les proportions de ces deux produits, sans que leur rapport fût modifié sensiblement dans la limite d'exactitude de mes procédés analytiques; mais dans aucun cas ils n'ont disparu.

Les variations dans les proportions de l'acide succinique, de la glycérine et par suite des autres produits de la fermentation ne doivent pas surprendre dans un phénomène où les conditions apportées par le ferment paraissent devoir être si changeantes. Ce qui m'a surpris au contraire, c'est la constance habituelle des résultats. Les diverses analyses de ce Mémoire nous en offrent assez de preuves.

Je suis donc très-porté à voir dans l'acte de la fermentation alcoolique un phénomène simple, unique, mais très-complexe comme peut l'être un phénomène corrélatif de la vie, donnant lieu à des produits multiples, tous nécessaires.

Les globules de levûre, véritables cellules vivantes, auraient pour fonction physiologique corrélatrice de leur vie, la transformation du sucre, à peu près comme les cellules de la glande mammaire transforment les éléments du sang dans les divers matériaux du lait, corrélativement à leur vie et aux mutations de leurs tissus.

Mon opinion présente la plus arrêtée sur la nature de la fermentation alcoolique est celle-ci : L'acte chimique de la fermentation est essentiellement un phénomène corrélatif d'un acte vital, commençant et s'arrêtant avec ce dernier. Je pense qu'il n'y a jamais fermentation alcoolique sans qu'il y ait simultanément organisation, développement, multiplication de globules, ou vie poursuivie, continuée, de globules déjà formés. L'ensemble des résultats de ce Mémoire me paraît en opposition complète avec les opinions de MM. Liebig et Berzelius.

Je professe les mêmes idées au sujet de la fermentation lactique, de la fermentation butyrique, de la fermentation de l'acide tartrique et de beaucoup d'autres fermentations proprement dites que j'étudierai successivement.

Maintenant en quoi consiste pour moi l'acte chimique du dédoublement du sucre et quelle est sa cause intime? J'avoue que je l'ignore complètement.

Dira-t-on que la levûre se nourrit de sucre pour le rendre ensuite comme un excrément sous forme d'alcool et d'acide carbonique? Dira-t-on au contraire que la levûre produit en se développant une matière telle que la pepsine, qui agit sur le sucre et disparaît aussitôt épuisée, car on ne trouve aucune substance de cette nature dans les liqueurs? Je n'ai rien à répondre au sujet de ces hypothèses. Je ne les admet ni ne les repousse et veux m'efforcer toujours de ne pas aller au delà des faits. Et les faits me disent seulement que toutes les fermentations proprement dites sont corrélatives de phénomènes physiologiques.

§ IX. — *De la production accidentelle de l'acide lactique dans la fermentation alcoolique.*

J'ai rappelé au commencement de ce Mémoire l'opinion commune des chimistes sur la nature de l'acide que Lavoisier signala le premier parmi les produits de la fermentation alcoolique. Lavoisier croyait que c'était de l'acide acétique. Plus tard on le prit pour de l'acide lactique.

La vérité est que l'acide lactique pas plus que l'acide acétique ne sont des produits de la fermentation alcoolique. Lorsque l'on trouve de l'acide acétique, c'est que le liquide fermenté a eu le contact de l'air dans des conditions toutes particulières; quant à l'acide lactique, c'est un produit également accidentel.

Les expériences les plus précises et les plus multipliées

m'ont prouvé qu'il ne se forme pas la plus petite quantité d'acide lactique dans la fermentation alcoolique (1).

Toutes les fois qu'il y apparaît, et le cas est des plus rares, à moins que l'on ne choisisse les conditions favorables, on peut être assuré que la levûre de bière est mêlée de levûre lactique. Les deux levûres vivant chacune pour leur propre compte, déterminent les transformations qui leur sont habituelles, et alors on trouve constamment dans le liquide fermenté, outre la glycérine et l'acide succinique, de l'acide lactique et de la mannite, ainsi qu'un nouvel acide sur lequel j'appellerai bientôt l'attention des chimistes.

D'ailleurs rien n'est plus facile que de reconnaître par le microscope, après que la fermentation est terminée ou pendant qu'elle s'accomplit, si la levûre de bière est mêlée à de la levûre lactique. Celle-ci par sa forme, son volume, son fourmillement est tellement différente de la levûre de bière, qu'on la distingue aisément. On n'aurait de peine que dans le cas où l'on se serait servi de levûre de bière brute, salie par des poussières ou des corps étrangers de la dimension des petits articles de la levûre lactique. Il faut alors une certaine habitude pour la reconnaître. Mais il est facile d'opérer avec de la levûre préalablement lavée ; les poussières ou petits corps étrangers dont elle est mélangée sont éloignés par la décantation de l'eau de lavage ou se déposent les premiers au fond du vase.

Le moyen chimique le plus exact de s'assurer de la présence ou de l'absence de l'acide lactique consiste à faire l'analyse complète du liquide fermenté. Cette analyse dif-

(1) Les expériences de l'un des paragraphes précédents sur le dosage de l'acide carbonique dans la fermentation alcoolique suffisent pour établir qu'il ne se forme pas du tout d'acide lactique quand on les rapproche des dosages de l'acide succinique et de la glycérine. La plus faible production d'acide lactique serait accusée par une diminution sensible dans le volume de l'acide carbonique.

fière peu de celle que l'on effectue pour séparer l'acide succinique de la glycérine. Je vais l'exposer sommairement : j'y reviendrai dans un Mémoire détaillé sur les produits de la fermentation lactique.

Le liquide fermenté, évaporé avec soin, est traité par le mélange d'alcool et d'éther qui dissout la glycérine, l'acide succinique, l'acide lactique et le nouvel acide auquel j'ai fait allusion tout à l'heure. La mannite et les matières albuminoïdes restent insolubles.

Cette solution complexe est évaporée et saturée par de l'eau de chaux pure. Après nouvelle évaporation, on reprend par le mélange étheré qui dissout la glycérine. Le résidu insoluble est mis à bouillir avec de l'alcool à 90 ou 95 degrés qui enlève le lactate de chaux et ne touche ni au succinate, ni à l'autre sel de chaux, tous deux insolubles dans l'alcool fort.

§. X. — *Des variations que l'on observe dans les proportions des produits de la fermentation.*

Dans les fermentations de sucre de canne, sous l'influence de la levûre de bière, les proportions de la glycérine peuvent varier de 2,5 à 3,6 pour 100 du poids du sucre ; celles de l'acide succinique de 0,5 à 0,7. Excepté le vin, où la proportion de ces substances paraît beaucoup augmentée, je n'ai jamais trouvé des nombres inférieurs ou supérieurs à ceux qui précèdent. Quant à la perte du sucre, je veux dire la quantité de sucre qui ne suit pas l'équation théorique, elle se trouve comprise entre 4,5 et 6 pour 100.

Ces variations dans les proportions de glycérine, d'acide succinique, ..., qui en entraînent de correspondantes pour l'alcool et l'acide carbonique, soulèvent une question très-importante que je regrette de ne pouvoir qu'effleurer, celle des causes de ces variations. Tout ce que je puis dire de général se résume dans les quelques propositions suivantes :

Il se forme d'autant plus de glycérine et d'acide succinique, et d'autant moins d'alcool, que la fermentation est plus longue, qu'elle se fait avec de la levûre plus épuisée, moins jeune, ayant peu d'aliments et des aliments mal appropriés à la multiplication de ses globules.

Les fermentations par ensemencement en présence d'une quantité plus que suffisante de matières albuminoïdes et minérales appropriées à la nature des globules fournissent moins de glycérine et d'acide succinique et plus d'alcool.

Une faible acidité de la liqueur m'a paru diminuer également les proportions de glycérine et d'acide succinique ; cela se présente, par exemple, dans les cas où il prend naissance un peu de levûre lactique. Le contraire arrive si le milieu est neutre (1).

Je dois dire cependant qu'il m'est arrivé de rencontrer dans certains cas, et sans que j'aie pu en deviner la cause, des exceptions à ces résultats généraux de mes analyses. Mais ce qui montre mieux que je n'ai saisi encore que par quelques côtés l'origine des changements qui surviennent dans les proportions des divers produits de la fermentation, ce sont les résultats que j'ai obtenus dans l'étude du vin, où l'on trouve ordinairement de très-fortes proportions de glycérine et d'acide succinique ; et pourtant la fermentation du moût de raisin s'accomplit dans un milieu acide, en présence de matières albuminoïdes et minérales qui paraissent on ne peut mieux appropriées à la nature de la levûre alcoolique.

(1) Je donnerai ultérieurement les proportions d'acide succinique et de glycérine formées dans la fermentation alcoolique en présence de la craie ou des alcalis.

DEUXIÈME PARTIE.

CE QU'É DEVIENT LA LEVURE DE BIÈRE DANS LA
FERMENTATION ALCOOLIQUE.§ I. — *Historique de l'état actuel de la science sur la levûre de bière et ses modifications pendant la fermentation alcoolique.*

Lewenhoeck en 1680 étudie la levûre de bière au microscope et la trouve formée de très-petits globules sphériques ou ovoïdes. Mais la nature chimique de cette substance est inconnue. Dans un Mémoire sur les fermentations couronné en 1787 par l'Académie de Florence, et lu à la Société Philomathique de Paris en 1799, Fabroni, savant italien, au milieu de beaucoup de vues et de faits erronés, rapproche et identifie même la levûre avec le gluten. C'était un progrès. Cela donnait une indication sur la place que doit occuper la levûre parmi les produits organiques. C'était l'assimiler aux matières dites alors animales, c'est-à-dire qui fournissent de l'ammoniaque à la distillation (1).

(1) « La fermentation n'est qu'une décomposition d'une substance par » une autre, comme celle d'un carbonate par un acide ou du sucre par » l'acide nitrique. La matière qui décompose le sucre est la substance vé- » géto-animale; elle siège dans des utricules particuliers dans le raisin comme » dans le blé. En écrasant le raisin on mêle cette matière glutineuse avec » le sucre, comme si on versait un acide et un carbonate dans un vase; dès » que les deux matières sont en contact, l'effervescence ou la fermentation y » commence, comme cela a lieu dans toute autre opération de chimie. »

FABRONI.

Voir le résumé critique du travail de Fabroni par FOURCROY, *Annales de Chimie*, tome XXXI; 1799.

Voici les réflexions de Fourcroy sur la proposition de Fabroni relative au gluten.

» Je ferai remarquer que la substance glutineuse que le citoyen Fabroni » regarde comme l'espèce de ferment constant du sucre, ne paraît pas être la » seule matière susceptible de cet effet, puisqu'il semble que la fécule, le » mucilage, l'extractif même en petite proportion sont également capables

Cette assertion de Fabroni mit en quelque sorte à l'ordre du jour la question de la nature du ferment.

On jugeait que Lavoisier avait résolu les difficultés de la fermentation pour ce qui regardait la matière fermentescible, mais on n'avait aucune idée sur la nature du corps qui provoquait le dédoublement du sucre. Aussi en l'an VIII, une année après la publication en France du travail de Fabroni, la classe des sciences physiques et mathématiques de l'Institut proposa pour sujet de prix la question suivante : « Quels sont les caractères qui distinguent dans les » matières végétales et animales celles qui servent de fer- » ment de celles auxquelles elles font subir la fermenta- » tion? » Encouragé par cette proposition de l'Institut, M. Thenard essaya de résoudre le problème, et il publia en l'an XI un Mémoire remarquable dans lequel il s'occupe principalement de la nature du ferment, de son origine, de son altération pendant l'acte de la fermentation. En voici le résumé :

Tous les jus sucrés naturels, mis en fermentation spontanée, donnent un dépôt qui a l'aspect de la levûre de bière et comme elle le pouvoir de faire fermenter l'eau sucrée pure. Cette levûre est de nature animale, c'est-à-dire qu'elle est azotée et qu'elle donne beaucoup d'ammoniaque à la distillation.

Pendant l'acte de la fermentation la levûre perd pro-

« de faire fermenter le corps sucré, comme on le voit dans les sirops, les » miels pharmaceutiques. Il est vrai que le citoyen Fabroni peut dire qu'il » y a toujours plus ou moins de matière végétale-animale dans ces diverses » substances, mais il manque à sa théorie d'avoir prouvé la présence de cette » matière dans le moût de raisin et dans les sucres fermentescibles divers.»

Dans ce travail de Fourcroy, je trouve le passage suivant :

« Depuis l'époque de la nouvelle nomenclature établie à la fin de l'été » 1787, je m'étais élevé contre l'expression de fermentation *spiritueuse*, » puisque le mot d'*esprit* devait être désormais banni de la science. J'avais » proposé les noms de *fermentation vineuse* ou de *fermentation alcoolique*. » L'expression de *fermentation alcoolique* aurait donc été introduite dans la science par Fourcroy en 1787.

gressivement son azote et disparaît pour une partie se transformant en produits solubles (1).

En réduisant les nombres de la seule expérience que rapporte M. Thenard à 100 parties, 20 parties de levûre de bière fraîche et 100 parties de sucre ont laissé, après avoir fermenté complètement, 13,7 parties d'un résidu insoluble, encore actif, et qui, épuisé par le contact d'une nouvelle quantité de sucre, s'est réduit à 10 parties. « Ce dernier » résidu était blanc, présentait toutes les propriétés du » ligneux et n'exerçait aucune action sur une nouvelle » quantité d'eau sucrée. » Ces résultats, sur lesquels je reviendrai bientôt, ont passé dans tous les ouvrages et ont servi de base à toutes les discussions sur la théorie de la fermentation. Je dois ajouter tout de suite qu'il y a dans le Mémoire de M. Thenard et jusque dans la dernière édition de son *Traité de Chimie* un passage curieux sur l'azote du ferment. « De nouvelles recherches, dit-il, dignes de toute » l'attention des chimistes, doivent être faites sur la décom- » position qu'éprouve le ferment. Il faudra voir ce que » peut devenir l'azote du ferment décomposé. Il ne se » trouve point mêlé au gaz carbonique ; il n'entre point » dans la composition de la matière blanche insoluble ; il » ne fait point partie d'une très-petite quantité de matière » très-soluble que l'on trouve dans la liqueur avec l'alcool. » L'alcool n'en renferme pas ; de sorte que la question de » savoir ce que devient l'azote du ferment est encore à » résoudre (2). »

Bien que ce passage, ainsi que je le montrerai, renferme plusieurs erreurs, il témoigne de la préoccupation de M. Thenard sur l'azote du ferment, et de plus que cet éminent chimiste, qui avait fait une étude particulière du sujet, n'acceptait pas les opinions des auteurs sur la trans-

(1) THENARD, *Annales de Chimie*, tome XLVI, page 294 ; 1803.

(2) THENARD, *Traité de Chimie*, 6^e édition, tome V, page 65.

formation de l'azote de la levûre en ammoniacque.

C'est, à ce qu'il paraît, Dœbereiner qui annonça le premier que l'azote de la levûre se trouvait dans la liqueur à l'état de sel d'ammoniacque, assertion qui fut acceptée par tous les chimistes. Elle s'introduisit peu à peu dans les ouvrages élémentaires, celui de M. Thenard excepté.

Quelques années après la publication du Mémoire de M. Thenard, Gay-Lussac fit connaître un résultat fort extraordinaire. En examinant les procédés de M. Appert pour la conservation des substances végétales et animales, il remarqua que du moût de raisin qui avait été conservé sans altération pendant une année entière entrainait en fermentation quelques jours après avoir été transvasé. Ce fait, dû à Appert, conduisit Gay-Lussac aux expériences que tout le monde connaît, et desquelles il résulte « que l'oxygène est » nécessaire pour commencer la fermentation, qu'il ne l'est » point pour la continuer (1). »

Pour rencontrer un nouveau progrès digne d'être mentionné dans l'histoire de la fermentation, après les travaux qui précèdent, et celui de M. Colin que j'ai déjà mentionné, il faut arriver jusqu'en 1835 et 1837, à M. Cagniard de Latour (2). Reprenant les anciennes observations microscopiques de Lewenhoeck, très-incomplètes et que d'ailleurs

(1) GAY-LUSSAC, *Annales de Chimie*, tome LXXVI, page 247; 1810.

(2) Il serait injuste de ne pas rappeler dans un historique sur la fermentation et à propos même des observations de M. Cagniard de Latour, les recherches microscopiques antérieures dues à M. Desmazières et publiées en 1825, dix années avant les travaux de M. Cagniard de Latour, dans les *Annales des sciences naturelles*. Il est vrai que M. Desmazières ne s'est pas occupé de la levûre proprement dite, mais il a le mérite d'avoir étudié au microscope et bien décrit la constitution de la pellicule qui se forme à la surface de la bière et que Persoon en 1822 avait appelée *Mycoderma cervisiæ*. Le travail de M. Desmazières a dû mettre sur la voie de l'étude microscopique de la levûre de bière et aider à mieux voir et mieux comprendre sa structure. A cette époque les recherches microscopiques étaient bien plus difficiles qu'aujourd'hui, et M. Cagniard de Latour rapporte lui-même qu'en 1810 s'étant servi d'un microscope très-imparfait, il avait cru que la levûre était

il ne connaissait pas, M. Cagniard de Latour introduisit dans les études qui nous occupent une idée nouvelle. Avant lui la levûre avait été regardée comme un principe immédiat des végétaux, qui avait la propriété de se précipiter en présence des sucres fermentescibles. M. Cagniard de Latour reconnut « que la levûre était un amas de globules suscepti- » bles de se reproduire par bourgeonnement, et non une » matière simplement organique ou chimique, comme on » le supposait. »

De ses observations M. Cagniard de Latour avait conclu « que c'est très-probablement par quelque effet de leur vé- » gétation que les globules de levûre dégagent de l'acide » carbonique de la liqueur sucrée et la convertissent en » liqueur spiritueuse (1). »

comme un sable très-fin composé de grains cristalloïdes (*Mémoire cité*, page 208). M. Desmazières reconnut que la pellicule en question était formée d'une multitude de capsules hyalines, ovoïdes, qui, d'après lui, peuvent se souder bout à bout pour former des tubes plus ou moins rameux, etc. Il reconnut de plus que ces globules sont doués de mouvements particuliers; il est convaincu de leur vie animale et les range parmi les infusoires. Il est évident que M. Desmazières a confondu le mouvement brownien avec un mouvement vital réel. Les recherches de R. Brown n'ont été publiées qu'en 1828. (*Annales des Sciences naturelles*, 1^{re} série, tome XIV, page 311, et *Remarques additionnelles*, tome XIX, page 104.) C'est dans ses *Remarques additionnelles* que R. Brown rectifie ses premières impressions et s'arrête à l'opinion suivante : « Les particules extrêmement délicates de la matière » solide, soit qu'on les obtienne de substances organiques ou inorgani- » ques, lorsqu'elles sont suspendues dans l'eau ou dans quelque autre fluide » aqueux, présentent des mouvements qui, d'après leur irrégularité et leur » indépendance apparente, ressemblent à un degré remarquable aux mou- » vements les moins rapides de quelques-uns des animalcules infusoires les » plus simples. » Tel est le mouvement qu'offrent les globules de levûre, ou ceux plus petits qui les accompagnent quelquefois. Ce sont ces mouvements qui avaient induit en erreur M. Desmazières et plusieurs naturalistes avant lui.

M. R. Brown lui-même est revenu à deux fois sur ces observations pour les bien comprendre. Ses premières impressions avaient été tout à fait erronées.

(1) CAGNIARD DE LATOUR, *Annales de Chimie et de Physique*, 2^e série, t. LXVIII.

Cette opinion trouva immédiatement dans M. Liebig un puissant contradicteur.

A ses yeux, le ferment est une substance excessivement altérable, qui se décompose et qui excite la fermentation par suite de l'altération qu'elle éprouve elle-même, en ébranlant par communication et désassemblant le groupe moléculaire de la matière fermentescible. Après avoir rappelé les propriétés de la levûre, il s'exprime ainsi : « Les » faits que nous venons d'exposer démontrent l'existence » d'une cause nouvelle qui engendre des décompositions et » des combinaisons. Cette cause n'est autre chose que le » mouvement qu'un corps en décomposition communique » à d'autres matières dans lesquelles les éléments sont main- » tenus avec une très-faible affinité..... La levûre de bière » et en général toutes les matières animales et végétales en » putréfaction reportent sur d'autres corps l'état de dé- » composition dans lequel elles se trouvent elles-mêmes ; » le mouvement qui par la perturbation de l'équilibre » s'imprime à leurs propres éléments se communique éga- » lement aux éléments des corps qui se trouvent en contact » avec elles (1). »

(1) LIEBIG, *Annales de Chimie et de Physique*, 2^e série, tome LXXI, page 178.

LIEBIG, *Lettres sur la Chimie*, traduction française, 16^e et 28^e lettre.

LIEBIG, *Traité de Chimie organique*. Introduction, page 29.

Note sur le Mémoire de M. Cagniard de Latour et l'observation de Gay-Lussac sur l'influence de l'oxygène dans la fermentation.

Lorsque M. Cagniard de Latour eut fait connaître ses premières observations, quelques personnes, comme cela n'arrive que trop souvent, essayèrent d'en diminuer le mérite et répandirent le bruit que ces résultats avaient été déjà publiés en Allemagne par le docteur Schwann. Il est bien avéré, en effet, que MM. Cagniard de Latour et Schwann arrivèrent chacun de leur côté presque à la même époque aux mêmes conséquences sur la nature de la levûre. Mais il n'est pas moins certain que la priorité de publication appartient à M. Cagniard de Latour. Voici un passage extrait du Mémoire de M. Schwann, inséré aux *Annales de Poggendorff*, tome XLI; 1837 : « Cette dissertation est

Il résulte des études historiques récentes insérées par M. Chevreul au *Journal des Savants*, cahier de févr. 1856, que Stahl avait déjà émis des idées analogues à celles de M. Liebig sur les causes de la fermentation.

M. Liebig a développé ses opinions dans la plupart de ses ouvrages avec une persistance et une conviction qui peu à peu les ont fait triompher. Aujourd'hui elles sont admises généralement en Allemagne et en France. MM. Fremy et Boutron les ont appliquées à la fermentation lactique avec une modification qui a été généralement adoptée. L'idée dominante de leur travail est celle-ci : Dans les matières capables d'agir comme ferment, le caractère de fermentation varie avec le degré d'altération de la substance. Elle est à diverses époques de sa décomposition ferment alcoo-

» la reproduction sans changements de celle qui fut lue dans les premiers
 » jours de février de cette année (1837) en mon nom par le professeur
 » Müller à la réunion de la Société des amis des sciences naturelles à Iéna.
 » Bientôt après je reçus l'*Institut* du 23 novembre 1836, où je vis que
 » M. Cagniard de Latour avait fait des observations analogues sur la fer-
 » mentation de la bière qui m'étaient restées inconnues jusqu'alors. »

Mais le travail de Schwann renferme des observations précieuses qui jettent beaucoup de jour sur l'origine des fermentations spontanées et qui permettent d'interpréter autrement que ne l'a fait Gay-Lussac les expériences d'Appert.

M. Schwann répète les expériences d'Appert en modifiant le procédé sur un point essentiel. Au lieu de se borner à chauffer en vases clos à la température de 100 degrés des liquides fermentescibles, il les place en contact avec de l'air ordinaire préalablement calciné. Même après plusieurs semaines, il ne s'y développe aucune fermentation ou putréfaction. On pouvait croire, et l'on croyait en effet, que dans l'expérience d'Appert l'oxygène de l'air des vases se concrétait, se combinait avec la matière organique. D'autre part, si l'on admet que l'oxygène est nécessaire pour provoquer la fermentation ou la putréfaction, il est facile de se rendre compte de la conservation des matières organiques par la méthode d'Appert. Il suffisait de dire que ce procédé a pour résultat de faire disparaître tout l'oxygène de l'air par combinaison avec la matière organique. C'était bien là, en effet, l'explication de Gay-Lussac : « Quoi qu'il en soit, dit-il, il me semble que l'on peut parfaitement concevoir la conservation des substances animales et végétales par le procédé de M. Appert. Ces substances, par leur contact avec l'air, acquièrent promptement une disposition à la putréfaction ou à la fermentation;

lique, ferment lactique... suivant l'état plus ou moins avancé de son altération.

Les idées de M. Liebig ont été également développées et soutenues d'une manière exclusive dans le bel ouvrage que M. Gerhardt a laissé en mourant (1).

A mon sens, voici surtout la cause du succès graduel que les idées de M. Liebig ont acquies auprès des chimistes. Depuis vingt ans on a découvert un grand nombre de phénomènes que l'on range à côté de la fermentation alcoolique proprement dite et dans lesquels il a paru impossible de reconnaître l'existence de végétations cryptogamiques particulières, mais dans toutes il y avait une matière, ayant eu vie, en voie d'altération. Et, par exemple, qu'on place

» mais en les exposant à la température de l'eau bouillante dans des vases
 » bien fermés, l'oxygène est absorbé, produit une nouvelle combinaison qui
 » n'est plus propre à exciter la fermentation et la putréfaction ou qui de-
 » vient concrète par la chaleur de la même manière que l'alumine.» (*Annales*
 » de Chimie et de Physique, tome LXXVI, page 255; 1810.

La modification apportée par Schwann à l'expérience d'Appert rend inadmissible l'explication de Gay-Lussac, puisque dans l'expérience de Schwann il y a une quantité quelconque d'oxygène en contact avec la matière animale ou végétale; seulement cet oxygène appartient à de l'air calciné. Dès lors la théorie la plus naturelle paraît être celle-ci : L'air renferme quelque chose qui provoque la fermentation ou la putréfaction. Ce quelque chose, germes, ozone, particules solides, fluides, ..., est détruit par la chaleur. Voilà pourquoi par la méthode d'Appert ou par celle de Schwann on préserve de toute altération les matières fermentescibles ou putrescibles. De même il est présumable que si l'expérience de Gay-Lussac sur les grains de raisin a réussi, c'est que Gay-Lussac en introduisant la bulle d'air ou d'oxygène a mis en contact avec le moût ce quelque chose dont nous parlons, et c'est ce quelque chose qui a fait naître la fermentation, et non l'oxygène comme il le croyait.

Le docteur Schwann ne cite pas les expériences d'Appert. J'ai dû réparer cet oubli. Les expériences de ce savant physiologiste ne sont que la reproduction de celles d'Appert et de Spallanzani, modifiées d'une manière ingénieuse et décisive.

Toutes les fois qu'on le peut faire, il est utile de montrer la liaison des faits nouveaux avec les faits antérieurs de même ordre. Rien de plus satisfaisant pour l'esprit que de pouvoir suivre une découverte dès son origine jusqu'à ses derniers développements.

(1) GERHARDT, tome IV, page 537.

du sucre dissous additionné de craie avec une matière animale azotée quelconque, le caséum, le gluten, la fibrine, la gélatine, la présure, une membrane animale, ... on voit peu à peu le sucre devenir acide lactique. Or ces matières animales sont de structure, de nature, de formes très-diverses, et l'effet définitif sur le sucre est le même. Il n'y a qu'une chose qui paraît être semblable dans ces matières azotées, c'est leur décomposition graduelle. La corrélation se montre donc entre la transformation du sucre en acide lactique et une altération, un mouvement de décomposition.

Des recherches de M. Colin sur la fermentation alcoolique, et qui datent de 1825, avaient déjà établi des faits analogues sur la fermentation alcoolique. Ce chimiste avait reconnu que les matières animales les plus diverses pouvaient provoquer le dédoublement du sucre en alcool et en acide carbonique.

Pendant une circonstance remarquable aurait dû éveiller l'attention et commander la prudence, au moins en ce qui concerne la fermentation alcoolique. En effet, après la publication des observations de M. Cagniard de Latour, M. Turpin, qui avait été chargé d'en faire un Rapport à l'Académie, étudia, sur la demande de M. Thenard, le dépôt qui se forme dans la fermentation alcoolique du sucre par la décoction du blanc d'œuf, et trouva qu'il était constitué uniquement par des globules de levûre de bière.

Si l'une des matières employées par M. Colin, l'albumine, ne provoquait la fermentation alcoolique qu'en donnant naissance à de la levûre, il était présumable que toutes les autres substances azotées se comportaient de même, et dès lors leur diversité ne prouvait rien quant à la théorie de M. Liebig.

Mais je me hâte d'ajouter que rien de pareil n'existait, on le croyait du moins, dans les cas très-divers et très-nombreux de fermentation lactique. Tous les observateurs s'accordent à dire qu'il n'y a qu'une altération chimique de la

matière animale. Les faits relatifs à cette fermentation et à plusieurs autres phénomènes du même ordre eurent dès lors une influence décisive sur la théorie.

C'est ainsi que l'idée de M. Cagniard de Latour qui avait eu d'abord un certain crédit fut abandonnée peu à peu. On ne contestait pas, beaucoup de personnes du moins, que la levûre de bière fût organisée, mais on croyait qu'elle se détruisait en partie par la fermentation, comme l'avait dit M. Thenard, et que, ressemblant en cela à toutes les autres matières azotées jouant le rôle de ferment, c'était à cette propriété qu'elle devait son action sur le sucre. Telle est la pensée de M. Liebig.

Berzelius ne partageait pas les idées de M. Liebig, tout en rejetant celles de MM. Cagniard de Latour et Schwann. Pour lui la fermentation était une action de contact. Il ne croyait même pas à l'existence d'un organisme vivant dans la levûre. « Celle-ci n'était qu'un produit chimique qui se précipitait » dans la fermentation de la bière et qui prenait la forme » ordinaire des précipités non cristallins, même inorganiques, de petites boules qui se groupent les unes à la suite » des autres en forme d'une chaîne de perles (1). »

Ailleurs il s'exprime ainsi : « Il est clair que lorsque des » produits de corps organisés se décomposent dans l'eau et

(1) BERZELIUS, *Comptes rendus des travaux de Chimie*, page 277; 1843.

BERZELIUS, *Comptes rendus des travaux de Chimie*; 1845.

Dans ses importants écrits sur la fermentation, M. Mitscherlich n'hésite pas à admettre que la levûre soit réellement organisée. Néanmoins il partage les vues de Berzelius sur la manière d'agir de la levûre vis-à-vis du sucre. (*Annales de Chimie et de Physique*, 3^e série, tome VII, page 31.) M. Mitscherlich s'exprime ainsi : « Les globules de ferment se comportent » donc vis-à-vis du sucre ou vis-à-vis du sucre et de l'eau, qui contiennent » les éléments de l'acide carbonique et de l'alcool, absolument comme » l'éponge de platine à l'égard de l'eau oxygénée. »

Cette opinion a été plus récemment émise par M. Berthelot, qui l'a en outre, ce me semble, quelque peu associée aux idées de M. Liebig. Je montre dans la seconde partie de mon travail que les faits sur lesquels s'appuie M. Mitscherlich sont entièrement controuvés.

» que des matières dissoutes se précipitent, ces dernières
 » doivent affecter une forme, et que, comme plusieurs d'entre
 » elles n'affectent pas de formes géométriques régulières, il
 » doit en résulter d'autres formes dépendantes de la nature
 » de ces corps qui influent aussi dans la nature vivante à
 » l'égard de la détermination de ces formes, d'où il est tout
 » naturel qu'elles imitent les formes les plus simples des
 » productions de la vie végétale. Cependant la forme seule
 » ne constitue pas encore la vie. »

Disons maintenant quelques mots de la composition chimique de la levûre. Dans le bel ensemble de travaux qu'il publia sur le développement des végétaux, M. Payen donna pour composition immédiate de la levûre :

Matière azotée	62,73
Enveloppes de cellulose . .	29,37
Substances grasses	2,10
Matières minérales	5,80
	<hr/>
	100,00

L'analyse élémentaire a fourni, comme on devait s'y attendre, des résultats qui ont varié avec les différents observateurs, suivant les modes de lavage et de purification qu'ils ont employés et avec l'origine de la levûre soumise à leurs analyses.

DUMAS (*Traité de Chimie*).

Carbone	50,6
Hydrogène	7,3
Azote	15,0
Oxygène	} 27,1
Soufre	
Phosphore	
	<hr/>
	100,00

(1) PAYEN, 1839. Voir les *Mémoires des Savants étrangers*, tome IX, page 32; 1846.

MITSCHERLICH (*Eléments de Chimie*).

Carbone	47,0
Hydrogène	6,6
Azote	10,0
Soufre	0,6
Un peu de phosphore	
Oxygène	35,8
	<u>100,00</u>

SCHLOSSBERGER .

	Levûre supérieure.		Levûre inférieure.	
Carbone	50,05	49,84	48,03	47,93
Hydrogène . . .	6,52	6,70	6,25	6,69
Azote	31,59	31,02	35,92	35,61
Oxygène	11,84	12,44	9,80	9,77
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

Dans les analyses de MM. Dumas et Schlossberger les cendres sont déduites. Le travail de M. Schlossberger sur la composition de la levûre est très-soigné et forme un complément indispensable de l'analyse de M. Payen. Car en profitant de l'action de la potasse pour dissoudre les matières azotées de la levûre, il parvient à les séparer presque entièrement et à isoler ainsi la cellulose qu'il transforme par les acides en sucre fermentescible; puis, précipitant par les acides les matières enlevées par la potasse, il fait voir par l'analyse qu'elles se rapprochent beaucoup plus que la levûre de la composition moyenne des matières dites albuminoïdes; qu'elles sont plus riches que la levûre en carbone, en azote et en hydrogène. J'ai vérifié l'exactitude des résultats de M. Schlossberger.

M. Mitscherlich a donné de très-bonnes analyses des

(1) SCHLOSSBERGER, *Annales allemandes de Chimie et de Pharmacie*, tome LI; 1845.

(2) MITSCHERLICH, *Comptes rendus de l'Académie de Berlin et Annales allemandes de Chimie et de Pharmacie*, tome LVI.

cendres de la levûre :

	Levûre supérieure	Levûre inférieure.
Acide phosphorique.	41,8	39,5
Potasse	39,8	28,3
Soude	"	"
Phosphate de magnésie (2 MgO, Ph O ⁵) . .	16,8	22,6
Phosphate de chaux (2 CaO, Ph O ⁵)	2,3	9,7
	100,7	100,1
Proportion pour 100 de cendres.	7,65	7,51

Il faut noter l'excellente méthode que M. Mitscherlich a mise en œuvre pour brûler la levûre. La matière était placée dans une nacelle d'argent, laquelle était introduite dans un tube de verre et chauffée dans un courant d'oxygène. Mais comme au contact du verre l'argent s'oxyde, la nacelle d'argent reposait sur une autre nacelle de platine. Tant qu'il se dégage des produits de distillation, on fait passer du gaz acide carbonique, on termine par le courant d'oxygène.

Je vais maintenant présenter les résultats de mes propres recherches sur la nature de la levûre et les transformations qu'elle éprouve pendant la fermentation alcoolique.

§ II. — *L'azote de la levûre ne se transforme jamais en ammoniacque pendant la fermentation alcoolique. Loin qu'il se forme de l'ammoniacque, celle que l'on ajoute peut même disparaître.*

J'ai rappelé les observations de M. Thenard sur la levûre. Entre autres résultats, il reconnut : 1° qu'une partie de la levûre disparaissait pendant la fermentation, c'est-à-dire que M. Thenard a recueilli après la fermentation moins de levûre qu'il n'en avait employé. Ce fait est exact dans les conditions de son expérience, mais sa signification n'aura de valeur et ne sera comprise que par les explications dont je l'accompagnerai bientôt. 2° M. Thenard ne trouva pas d'azote dans la levûre après la fermentation; ceci est une

erreur grave, et on pourrait s'étonner à juste titre qu'elle eût échappé à un expérimentateur de l'habileté de M. Thenard. Mais il faut se rappeler l'état de la science à l'époque où M. Thenard publia ses recherches. Alors on constatait la présence ou l'absence de l'azote dans les matières organiques par la distillation de la substance, et on répondait affirmativement sur l'existence de cet élément quand la distillation avait fourni de l'ammoniaque. La levûre épuisée n'en donna pas. Le résidu du liquide fermenté évaporé n'en donna pas davantage, et M. Thenard, fort surpris de ces résultats, se demande où peut être l'azote de la levûre. Il le cherche dans l'acide carbonique dégagé; mais, comme l'avait déjà vu Lavoisier, ce gaz est complètement absorbable par la potasse. Il le cherche dans l'alcool sans plus de succès. Qu'est-il donc devenu? Et d'après un passage que j'ai rapporté précédemment, ces préoccupations de M. Thenard le poursuivent jusque dans les dernières éditions de son *Traité de Chimie*.

L'explication me paraît assez simple. Nous verrons dans un paragraphe suivant, par l'examen détaillé de la levûre solide et de ses parties solubles après la fermentation, que les éléments du sucre se fixent en proportion notable sur la levûre et les principes solubles du résidu du liquide fermenté. D'autre part, nous savons que l'extrait du liquide fermenté renferme de la glycérine et de l'acide succinique. Il est très-probable que dans les expériences de M. Thenard les acides formés par la glycérine, et les autres matières provenant du sucre, pendant la distillation même, ont saturé l'ammoniaque et masqué sa présence.

M. Thenard fut bien près de sortir d'embarras. Car il ajoute une phrase qui trahissait ses doutes et indiquait la manière dont ils auraient pu être levés.

« J'ai fait cependant, ajoute-t-il, plusieurs autres expériences qui jusqu'ici tendent à prouver que l'azote peut

» exister dans une matière sans qu'on puisse le reconnaître
 » en la distillant ; que par conséquent il peut se faire que
 » ce soit un principe constituant des végétaux, quoiqu'ils
 » ne donnent pas en général d'ammoniaque par la distilla-
 » tion. Mais je n'ai point encore répété ces expériences, et
 » l'on ne saurait mettre trop de réserve dans leur an-
 » nonce. »

Dœbereiner écarta, mais par des expériences inexactes, les difficultés soulevées par le Mémoire de M. Thenard. Il annonça que sur un point ce chimiste s'était trompé et que le résidu soluble du liquide fermenté renfermait l'azote du ferment à l'état d'ammoniaque. A partir de cette indication, tous les ouvrages répétèrent à l'envi que l'azote de la levûre disparaissait peu à peu durant la fermentation, que la levûre, comme l'avait dit M. Thenard, devenait semblable au ligneux, et que la portion altérée et soluble renfermait tout l'azote à l'état de sel d'ammoniaque, d'où les alcalis pouvaient facilement la séparer.

Les résultats de Dœbereiner sont erronés. Le résidu soluble du liquide fermenté ne renferme pas la plus petite quantité d'ammoniaque provenant de l'azote de la levûre. L'azote qu'il renferme est entièrement sous la forme de matière albuminoïde très-altérable par les alcalis, et dégageant même à froid de l'ammoniaque par la potasse, la chaux, la baryte. C'est là ce qui a trompé Dœbereiner.

Mes propres expériences sur l'azote du ferment n'ont acquis toute la précision désirable que lorsque j'eus connaissance des excellents procédés de dosage de l'ammoniaque exposés par M. Boussingault dans ses Mémoires et dans ses remarquables leçons du Conservatoire des Arts et Métiers où j'ai pu assister à tous les détails des opérations. L'indication la plus précieuse de M. Boussingault pour les recherches que j'avais entreprises est la suivante : la magnésie calcinée décompose à l'ébullition les sels d'ammoniaque, et

ne dégage pas d'ammoniaque des matières organiques azotées les plus altérables par la chaux, la potasse ou la baryte. Dans les conditions de mes études ce résultat est d'une exactitude irréprochable.

Cela posé, voici quelques analyses des liquides de fermentation. Elles montrent clairement qu'il ne se forme pas la plus petite quantité d'ammoniaque pendant l'action de la levûre.

Le 18 janvier 1858, je mets à fermenter 100 grammes de sucre avec un litre d'eau tenant en dissolution les principes solubles de la levûre de bière et une quantité à peine sensible de globules de levûre frais. Un dosage fait à part sur une autre portion d'un litre de ce liquide apprend qu'il renferme $0^{\text{gr}},038$ d'ammoniaque. Le 5 février, la fermentation est terminée. L'ammoniaque est dosée, en opérant sur tout le liquide; il ne reste plus que $0^{\text{gr}},020$ d'ammoniaque, c'est-à-dire moins d'ammoniaque qu'à l'origine.

Le 30 avril, je mets également à fermenter 100 grammes de sucre, mais cette fois avec de la levûre ordinaire employée en très-petite quantité, afin que la fermentation dure longtemps et de manière à me placer dans des conditions différentes de celles de l'expérience précédente. J'ajoute seulement $1^{\text{gr}},037$ de levûre (poids de matière desséchée à 100 degrés). Le 30 août la fermentation est encore sensible. Un tube abducteur adapté au flacon de fermentation a toujours plongé dans l'eau. Le liquide fermenté n'est étudié que le 27 novembre. On trouve que tout le liquide ne renferme que $0^{\text{gr}},0008$ d'ammoniaque, et il est très-probable qu'il n'y en avait pas du tout, et que cette quantité si minime d'ammoniaque provient d'une erreur de dosage ou d'une faible réaction de la magnésie sur les matières albuminoïdes du liquide fermenté.

10 grammes de sucre ont été mis à fermenter avec 200 centimètres cubes d'eau de levûre limpide renfermant $0^{\text{gr}},0075$ d'ammoniaque et une trace de levûre fraîche.

Six jours après on trouve, en opérant sur toute la liqueur, qu'elle renferme $0^{\text{sr}},0005$ d'ammoniaque.

La constance des résultats de ces expériences et de beaucoup d'autres semblables ne laisse pas de doutes sur le fait principal. Il ne se forme pas la moindre quantité d'ammoniaque, dans la fermentation alcoolique, aux dépens de la levûre. Mais ces résultats vont plus loin : ils accusent une disparition d'une portion de l'ammoniaque existant dans la liqueur primitive. Cette dernière circonstance m'engagea à ajouter directement de l'ammoniaque, afin de mieux étudier le phénomène. Les expériences suivantes ont été faites dans cette direction :

100 grammes de sucre,
 10 grammes de levûre lavée en pâte,
 $0^{\text{sr}},200$ tartrate d'ammoniaque (gauche), renfermant $0^{\text{sr}},0185$
 d'ammoniaque.

La fermentation dure très-longtemps. Lorsqu'il n'y a plus du tout de sucre à l'essai par la liqueur cuivrique, le liquide est étudié. Il ne renferme que $0^{\text{sr}},0015$ d'ammoniaque.

J'ai retrouvé d'ailleurs l'acide tartrique gauche libre dans la liqueur avec tous ses caractères. Ainsi presque toute l'ammoniaque ajoutée à l'état de tartrate d'ammoniaque a disparu, et, en outre, celle qui existait dans les 10 grammes de levûre.

Dans l'expérience suivante, je me suis servi de tartrate droit d'ammoniaque :

$19^{\text{sr}},575$ sucre sont mis à fermenter avec
 $200^{\text{sr}},00$ eau,
 $0^{\text{sr}},523$ levûre, contenant $0^{\text{sr}},179$ de matière sèche.

J'ajoute d'autre part $0^{\text{sr}},475$ tartrate droit d'ammoniaque représentant $0^{\text{sr}},088$ d'ammoniaque.

Un mois après, la fermentation est terminée. Il reste

0^{gr},071 d'ammoniaque ; 0^{gr},017 ont donc disparu, c'est-à-dire le cinquième de la quantité totale employée.

En résumé, nous voyons que, bien loin qu'il se forme de l'ammoniaque dans la fermentation alcoolique, celle que l'on ajoute peut disparaître, dans les cas surtout où il y a insuffisance de principes albuminoïdes solubles par l'emploi d'une petite quantité de levûre de bière.

Les études du paragraphe suivant vont nous apprendre que l'ammoniaque qui disparaît ainsi entre dans la constitution de la levûre à l'état de matières albuminoïdes.

§ III. — *Production de levûre dans un milieu formé de sucre, d'un sel d'ammoniaque et de phosphates.*

Des expériences inédites faites à l'origine de mes recherches sur les produits gazeux de la fermentation, dans des distilleries de grains et de betteraves, m'avaient prouvé que l'acide carbonique des cuves est à peu de chose près complètement absorbable par la potasse. Dans plusieurs essais où j'avais recueilli chaque fois de 60 à 70 litres de gaz en quelques heures à l'aide d'un appareil à potasse qui dissolvait le gaz au fur et à mesure de son dégagement, j'ai trouvé que le gaz carbonique de ces grandes fermentations industrielles accomplies en présence des sels ammoniacaux naturellement contenus dans les liqueurs, renfermait un dix-millième environ de son volume d'azote (1). 60 à 70 litres

(1) La description de l'appareil qui m'a servi dans cette occasion pourra peut-être avoir quelque utilité.

B. Ballon rempli d'une solution très-concentrée de potasse caustique et de la capacité de $\frac{1}{2}$ litre à 1 litre.

F. Flacon servant à recevoir la potasse de B pendant l'arrivée des bulles d'acide carbonique dont la dissolution n'est pas immédiate.

E. Entonnoir renversé dans la cuve de fermentation et qui conduit le gaz carbonique dans le vase B par le tube de caoutchouc *abc* et le tube de verre *def*.

R. Robinet de sûreté pour le maniement de l'appareil.

On adapte le caoutchouc au robinet lorsque la potasse remplit le

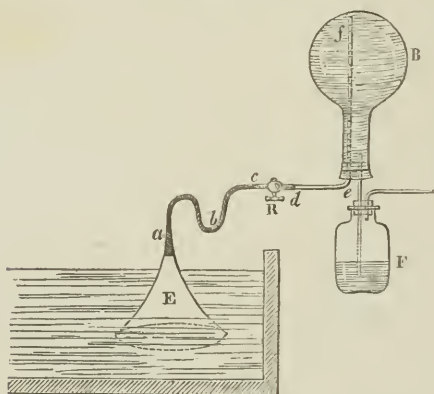
du gaz laissent un résidu de 7 à 8 centimètres cubes non absorbable par la potasse. Ces expériences mériteraient d'être reprises dans les conditions des expériences du paragraphe précédent. Je crus néanmoins pouvoir inférer de leurs résultats, sans autre vérification, que l'azote de l'ammoniaque qui disparaît dans la fermentation alcoolique ne se dégage pas à l'état gazeux.

Guidé par ces indications, je me demandai, quelque peu fondée que pouvait paraître cette présomption, si dans les conditions de la fermentation l'ammoniaque ne formerait pas de la matière albuminoïde par une sorte de copulation avec le sucre, de manière à entrer dans la composition de la levûre, ce qui expliquerait le fait de sa disparition en tant qu'ammoniaque.

C'est ainsi que je fus conduit aux résultats suivants, qui montreront toute la puissance d'organisation de la levûre et

tube *fed* et après que tout l'air a été chassé de l'entonnoir et du tube *abc*.

Fig. 2.



La quantité d'acide carbonique est déterminée très-exactement par la différence de poids de tout l'appareil avant et après l'expérience.

Cet appareil ne peut guère être utilisé pour des fermentations en petit, parce que le dégagement et la pression du gaz sont trop faibles pour empêcher tout passage de la potasse de *d* vers *c* à travers le robinet.

qui mettront fin, ce me semble, aux discussions sur sa nature:

Dans une solution de sucre candi pur, je place d'une part un sel d'ammoniaque, par exemple du tartrate d'ammoniaque, d'autre part la matière minérale qui entre dans la composition de la levûre de bière, puis une quantité pour ainsi dire impondérable de globules de levûre frais. Chose remarquable, les globules semés dans ces conditions se développent, se multiplient et le sucre fermente, tandis que la matière minérale se dissout peu à peu et que l'ammoniaque disparaît. En d'autres termes, l'ammoniaque se transforme dans la matière albuminoïde complexe qui entre dans la constitution de la levûre, en même temps que les phosphates donnent aux globules nouveaux leurs principes minéraux. Quant au carbone, il est évidemment fourni par le sucre.

Voici, par exemple, la composition d'une des liqueurs employées :

10^{gr},000 sucre candi pur.

Cendres de 1 gramme de levûre obtenues au moufle d'un fourneau de coupelle.

0^{gr},100 tartrate droit d'ammoniaque.

Traces de levûre de bière fraîche, lavée, de la grosseur d'une tête d'épingle à l'état frais, humide, perdant 80 pour 100 d'eau à 100 degrés.

Dans un pareil mélange, le vase étant rempli jusque dans le goulot et bien bouché, ou muni d'un tube à gaz plongeant dans l'eau pure, la fermentation se déclare. Après vingt-quatre à trente-six heures, la liqueur commence à donner des signes sensibles de fermentation par un dégagement de bulles microscopiques, qui annoncent que le liquide est déjà saturé d'acide carbonique. Car je ne crois pas que la fermentation se manifeste par un dégagement de gaz apparent avant que cette condition de saturation soit remplie.

Les jours suivants, le trouble de la liqueur augmente progressivement, ainsi que le dégagement de gaz qui devient assez sensible pour que la mousse remplisse le goulot du flacon. Un dépôt couvre peu à peu le fond du vase. Observée au microscope, une goutte de ce dépôt offre une belle levûre très-ramifiée, extrêmement jeune d'aspect, c'est-à-dire que les globules sont gonflés, translucides, non granuleux, et l'on distingue parmi eux, avec une facilité surprenante, chaque globule de la petite quantité de levûre semée à l'origine. Ces globules sont à enveloppe épaisse, se détachant en cercle plus noir ; leur contenu est jaunâtre et tout granuleux ; mais la manière dont ils sont quelquefois entourés par les globules jeunes, indique bien nettement qu'ils ont donné naissance à ceux de ces derniers qui forment les têtes des chapelets.

C'est dans les premiers jours qu'il faut faire ces observations intéressantes : le soir, à la lumière vive du gaz, les vieux globules se distinguent des jeunes infiniment plus nombreux, comme on distinguerait une bille noire au milieu de beaucoup de billes blanches.

Peu à peu les différences s'effacent et les globules nouveaux dissociés ont perdu toute apparence ramifiée ; on ne voit plus de bourgeons. Les globules sont très-granuleux à la manière de la levûre de bière adulte ou épuisée.

Il ne faudrait pas croire néanmoins que la fermentation devienne jamais aussi active que si, au lieu d'ammoniaque pour aliment azoté des globules semés, on se servait d'une matière albuminoïde appropriée, comme celle du raisin, du jus de betteraves, ou la partie soluble de la levûre de bière ordinaire. Sème-t-on dans de l'eau sucrée, mêlée d'un peu de ces matières albuminoïdes, des globules de levûre frais, les phénomènes généraux seront en tous points les mêmes que ceux que je viens de décrire, mais la fermentation sera très-sensiblement plus active. Par exemple, au lieu de se déclarer après trente-six à quarante-huit heures, les pre-

}
 au lieu
 de se déclarer

nières petites bulles d'acide carbonique apparaissent déjà au bout de douze à vingt-quatre heures. En outre, la quantité de levûre formée et déposée dans le même temps est bien supérieure ; mais, je le répète, tout est pareil avec une énergie plus grande, et les produits formés sont rigoureusement les mêmes.

Rien n'est curieux comme cette influence de la nature azotée et minérale du milieu sur l'activité de la fermentation. J'ai fait à cet égard des expériences multipliées dont je rapporterai quelques résultats. L'un des plus intéressants est relatif à l'emploi de l'albumine du blanc d'œuf. J'ai été fort surpris de trouver cette matière tout à fait impropre à nourrir les globules de levûre de bière. Que l'on dissolve du sucre dans de l'albumine d'œufs frais délayée dans l'eau et filtrée, rendue ou non très-peu acide, que l'on ajoute une très-petite quantité de levûre de bière, les globules semés ne se développeront pas du tout ; il n'y aura pas trace de fermentation (1).

On sait pourtant par les expériences de M. Collin et de M. Thenard qu'une décoction d'albumine sucrée et abandonnée à elle-même fermente et qu'il s'y forme, d'après M. Turpin, de la levûre alcoolique ordinaire ; mais, comme l'ont bien remarqué MM. Thenard et Collin, cet effet ne se produit qu'au bout de trois semaines ou un mois à une température de 30 à 35 degrés, et à partir de ce moment la fermentation est toujours fort lente. Or, en étudiant la liqueur pendant l'intervalle de temps qui précède la fermentation alcoolique, il est facile de reconnaître qu'il s'y forme des productions diverses, infusoires ou mucédinées, et je ne doute pas que l'albumine, modifiée quelque peu dans sa nature par ces matières, ne devienne peu à peu apte à nourrir de la levûre de bière.

(1) Voir dans le tome XVIII des *Comptes rendus de l'Académie des expériences analogues de M. Bouchardat.*

Les choses se passent bien différemment avec le sérum du sang ou les liquides exprimés des muscles. Le sérum limpide, incolore, étant additionné de sucre et de quelques globules de levûre, permet à ceux-ci de se développer avec une merveilleuse facilité, et le sucre fermente presque aussi facilement que si l'on se servait d'un jus sucré naturel ou d'eau de levûre limpide. Ce n'est pas, je pense, que l'albumine du sérum ait une nature différente de celle du blanc d'œuf; je crois que cela tient à d'autres matières albuminoïdes qui accompagnent l'albumine dans le sang et qui sont par leur nature individuelle propres à la nourriture des globules de levûre. Voici ce qui m'engage à adopter cette opinion.

J'ai fait coaguler du sérum incolore, puis je l'ai mis à bouillir avec de l'eau, et après filtration, à limpidité parfaite, pour séparer l'albumine coagulée, j'ai dissous du sucre dans le liquide filtré et ajouté quelques globules frais. Ceux-ci se sont multipliés et il y a eu fermentation alcoolique très-bien caractérisée.

J'ai fait la même expérience avec de l'eau bouillie sur du blanc d'œuf et je n'ai pas obtenu du tout de fermentation.

Ces expériences ont été répétées maintes fois et ont donné toujours les mêmes résultats.

Quoi qu'il en soit, n'est-il pas bien remarquable de voir un sel d'ammoniaque capable de servir à la nourriture des globules de levûre, leur fournir leurs principes albuminoïdes, et l'albumine pure du blanc d'œuf y être entièrement impropre? On comprend ainsi que la distance peut être grande entre les diverses espèces de ce groupe générique désigné par l'expression de matières albuminoïdes ou protéiques. J'ai remarqué également que certaines matières protéiques sont bien plus que d'autres favorables au développement de la levûre lactique : par exemple, les parties solubles du gluten, de la caséine, le résidu azoté des li-

quides qui ont subi la fermentation alcoolique.
 Lors même que l'on sème des globules de levûre de bière dans les solutions aqueuses de ces produits, où l'on a préalablement fait dissoudre du sucre, il n'est pas rare de voir la fermentation alcoolique s'accompagner de fermentation lactique, c'est-à-dire qu'il se développe spontanément (par l'effet du contact de l'air à l'origine) de la levûre lactique qui agit pour son propre compte sur le sucre, parallèlement à la levûre alcoolique.

L'influence du milieu, de l'appropriation de la matière azotée et des matières minérales à la vie de la levûre se manifeste encore d'une autre manière qui n'est pas moins démonstrative; je veux parler de la fermentation spontanée des liquides sucrés sans addition préalable d'une levûre déterminée.

Tout le monde sait que le jus de raisin abandonné à lui-même éprouve après quelques heures la fermentation alcoolique, et il est excessivement rare qu'elle soit compliquée d'une autre fermentation, par exemple, de la fermentation lactique. La même chose arrive au jus de betteraves, s'il a été rendu acide, suivant la pratique de M. Dubrunfaut, à la manière des jus des fruits acides. Mais ici déjà on rencontrerait assez fréquemment, j'en ai beaucoup de preuves, la production de fermentations parallèles et simultanées avec leurs levûres spéciales.

Se sert-on d'eau de levûre, c'est-à-dire de la partie soluble de la levûre de bière filtrée à limpidité parfaite, puis additionnée de sucre et abandonnée à elle-même, il y aura presque toujours fermentation alcoolique, c'est-à-dire formation spontanée de levûre de bière, s'il y a eu contact de l'air à l'origine. Très-rarement, quoique j'en aie vu plusieurs exemples dans le cours de mes recherches, il ne se produira que des levûres lactique, butyrique, ; mais ce qui est fréquent dans ces conditions, c'est la formation simultanée de la levûre alcoolique et de la levûre lactique,

et l'on peut même en quelque sorte faire prédominer telle ou telle de ces levûres, selon que l'on emploie de l'eau de levûre fraîche ou de l'eau de levûre altérée. L'eau de la levûre altérée, quoique parfaitement limpide et obtenue après ébullition, sera bien plus propre à la formation de la levûre lactique.

Ces résultats seraient bien plus saillants encore si l'on faisait intervenir des changements dans les conditions, soit primordiales, soit permanentes, de neutralité ou d'alcalinité des milieux.

On aurait pu croire que dans ces phénomènes la nature de la matière albuminoïde, indépendamment de son association ou de sa combinaison avec les substances minérales, jouait le principal rôle. Mais voici des faits qui montrent clairement que la présence et la qualité des éléments minéraux ne sont pas moins essentielles que celles qui concernent les éléments organiques. Vient-on, en effet, à supprimer la matière minérale dans la composition du milieu formé d'eau sucrée, d'un sel d'ammoniaque et de cendres de levûre, les globules semés ne se multiplient pas du tout, et il ne se manifeste aucun mouvement de fermentation. Bien plus, si l'on modifie la nature des principes minéraux, que l'on enlève, par exemple, les phosphates alcalins, la marche de la fermentation est très-sensiblement modifiée et ralentie.

Le phosphate de magnésie employé seul ne donne pas les mêmes résultats que les cendres de levûre brute. Des changements se manifestent lorsqu'on se sert de cendres de levûre fondues au rouge blanc (ce qui a chassé en partie les alcalis) ou simplement frittées par une chaleur modérée. C'est dans ces dernières conditions que la marche de la fermentation est la plus rapide et la plus régulière.

On peut s'assurer par des essais du même genre que le sel d'ammoniaque est indispensable. Les globules de levûre semés dans de l'eau sucrée mêlée de cendres de levûre ne

donnent lieu à aucune fermentation sensible. Elle n'est pas cependant tout à fait nulle; elle donne quelquefois une fraction de centimètre cube de gaz, ce qui doit tenir à l'ammoniaque de l'eau distillée ou à la proportion infiniment petite de matière albuminoïde qu'apporte la semence.

L'intervention nécessaire du sucre, qui seul peut fournir le carbone des globules de levûre, est assez prouvée dans ces expériences pour que je ne m'y arrête pas. Ainsi tout concourt à l'accomplissement du phénomène de la fermentation : le sucre, la matière azotée, la matière minérale.

L'influence de la semence n'est pas moins certaine. C'est à tel point, que, si elle est supprimée, il y a fermentation également, mais jamais je n'ai vu un seul globule de levûre de bière prendre naissance, et seulement des infusoires, les plus petits de tous, et de la levûre lactique avec la fermentation qui est corrélative de son développement.

D'où vient cette absence complète de levûre de bière dans ces dernières dispositions des expériences? Tous les faits que j'ai rapportés précédemment le disent assez. C'est que le milieu ne convient pas suffisamment à la propagation de cette levûre. Il n'y a aucune impossibilité matérielle à ce que la levûre de bière se forme, bien qu'on n'en sème pas. Elle apparaît en effet spontanément par le contact de l'air dans le moût de raisin, dans le jus de betteraves, etc.; mais le milieu formé de sucre, de phosphates et de sel d'ammoniaque lui convient assez peu, pour que sa production spontanée soit impossible, bien que ce même milieu puisse entretenir la vie et le développement de la levûre adulte que l'on y sème. Plus approprié, au contraire, paraît-il, à la levûre lactique et aux infusoires, ce milieu particulier et presque tout minéral permet la formation de ces dernières productions, si la liqueur a eu le contact de l'air commun.

Fait-on bouillir quelques minutes le mélange et y laisse-

l'on rentre de l'air calciné, il ne surgit aucun organisme, aucun mouvement de fermentation d'aucun genre.

Tous ces faits, qui éclairent, ce me semble, d'un jour nouveaux les phénomènes des fermentations, serviront à comprendre une particularité fort ordinaire dans les fermentations qui s'effectuent au sein d'un milieu formé d'eau sucrée, de sel d'ammoniaque, de phosphates et de semences de levûre de bière : c'est la naissance fortuite de la levûre lactique et d'infusoires. Ces derniers disparaissent promptement, on ne les voit que dans les premiers jours; mais la levûre lactique persiste et se multiplie, et souvent même elle finit par agir à peu près seule, parce que l'acidité croissante qu'elle apporte dans la liqueur nuit beaucoup à la levûre de bière. Le fait du mélange des deux levûres, bien qu'on n'ait semé que de la levûre de bière, tient à la nature du milieu, plus propre au développement de la levûre lactique qu'à celui de la levûre alcoolique, puisque, dans le cas de fermentation spontanée, la levûre alcoolique n'y apparaît jamais.

Cela posé, je vais donner l'analyse détaillée d'une fermentation accomplie dans un milieu composé d'eau, de sucre candi pur, de tartrate d'ammoniaque et de cendres de levûre, blanches, fondues et pulvérisées.

Le 10 décembre 1858, à midi, on place à l'étuve :

10 grammes de sucre.

100 centimètres cubes d'eau; 0^{gr}, 100 de tartrate droit d'ammoniaque.

Cendres de 1 gramme de levûre.

Traces de levûre fraîche (de la grosseur d'une tête d'épingle).

Le 11, à 4 heures du soir, en observant attentivement sur le fond du vase la place où est tombé le petit fragment de levûre ajoutée, on voit s'élever continuellement des bulles gazeuses d'une ténuité extrême. Le phénomène est continu en cet endroit. Ailleurs, sur le fond du flacon,

de temps à autre seulement une bulle de gaz s'élève très-petite et très-rare. En outre, dans la masse du liquide, quelques petits flocons nagent suspendus à diverses hauteurs par de très-petites bulles de gaz adhérentes.

A 7 heures du soir, le même jour, fermentation bien plus sensible, quoique toujours des plus faibles. Déjà un peu de mousse dans le goulot au niveau du liquide. Des bulles partent des divers points du fond du vase. Le 12, fermentation très-sensible; beaucoup de mousse et déjà un dépôt sensible sur le fond; liquide troublé par la levûre en suspension qui est très-belle et offre les caractères que j'ai déjà décrits.

Le 13, le 14, le 15, fermentation active, mais les jours suivants elle se ralentit peu à peu, bien qu'elle soit toujours continue.

En examinant le liquide de temps à autre, en janvier, il est visible que de la levûre lactique a pris naissance et qu'elle va en augmentant ainsi que l'acidité de la liqueur.

Voyant que la fermentation lactique nuit à la fermentation alcoolique, je mets fin à l'expérience et j'étudie la liqueur. Une portion a fourni une quantité très-sensible d'alcool qui n'a pas été dosé.

L'analyse, par la liqueur de cuivre, de la quantité de sucre restant, a montré que 4^{gr},5 de sucre avaient fermenté, c'est-à-dire qu'il en restait 5^{gr},5.

En saturant 10 centimètres cubes par l'eau de chaux titrée, on a trouvé qu'il s'était formé une quantité d'acide équivalente à 0,597 d'acide sulfurique, ce qui fait à peu près 1 gramme d'acides organiques; quantité considérable, qui montre bien que la fermentation alcoolique avait dévié de sa direction première.

J'ai déterminé la quantité d'ammoniaque en opérant sur 50 centimètres cubes du liquide fermenté. J'ai trouvé de cette manière qu'il avait disparu 0^{gr},0062 d'ammoniaque. La levûre recueillie tout d'abord sur un filtre taré et des-

séché à 100 degrés pesait 0^{sr},043. Je me suis assuré que toute la cendre de levûre employée avait été dissoute pendant l'opération. Le poids 0,043 est donc le poids réel de levûre formée prise à l'état sec.

Afin de reconnaître la nature de l'acide, une portion du liquide fermenté est évaporée, reprise par de l'éther à plusieurs fois, évaporée de nouveau, saturée par l'eau de chaux, évaporée encore et traitée par l'alcool, qui a donné un précipité très-faible, cristallin, mais non douteux de succinate de chaux dont j'ai retiré de l'acide succinique cristallisé, si facile à reconnaître même en opérant sur une quantité très-minime de ce produit.

Le liquide alcoolique a donné une cristallisation abondante de lactate de chaux mélangé d'une petite quantité du sel de chaux auquel j'ai déjà fait allusion précédemment ; il n'était pas douteux, par le volume de la cristallisation du lactate de chaux, que la plus grande partie de l'acide de la liqueur était de l'acide lactique.

J'ai transformé une portion de ce sel en lactate de zinc facile à caractériser par sa forme cristalline.

Enfin dans le résidu traité par l'éther et laissé insoluble par ce liquide, j'ai très-nettement distingué au microscope un précipité cristallin ayant exactement la forme de la mannite et une saveur sucrée, ce qui éloignait le doute pouvant provenir de la présence de l'acide tartrique dans le résidu. Quant à la glycérine, elle a été mise en évidence dans ce résidu après un traitement par le mélange d'alcool et d'éther.

Tous ces résultats, de la plus rigoureuse exactitude, bien que la plupart aient été obtenus en agissant sur des poids de matière très-faibles, établissent la production des levûres alcoolique et lactique et des fermentations particulières qui leur correspondent dans un milieu formé uniquement de sucre, d'un sel d'ammoniaque et d'éléments minéraux.

Dans ce Mémoire, je n'ai voulu mettre en évidence que ce résultat.

Je publierai ultérieurement un travail spécial sur la fermentation alcoolique accomplie dans ces conditions, et j'étudierai alors particulièrement la nature des matières albuminoïdes de la levûre formées à l'aide du sucre et de l'ammoniaque (1).

§ IV. — *Etude des rapports de la levûre et du sucre. Ce que devient l'azote de la levûre pendant la fermentation alcoolique.*

Nous voici arrivés à un point très-délicat de ces recherches, je veux parler des rapports qui s'établissent entre le sucre et la levûre.

Il ne sera guère question ici que des rapports matériels, mais ce sont ceux-là qu'il faut évidemment consulter avant d'aborder les rapports plus intimes, les rapports physiologiques.

Je donnerai en premier lieu quelques détails sur la structure des globules de levûre de bière.

Les globules de levûre sont formés, à n'en pas douter, de

(1) M. Dumas, lorsque j'eus l'honneur de lui communiquer de vive voix la première annonce des faits dont il a été question dans ce chapitre, fut très-frappé du rôle individuellement nécessaire des sels d'ammoniaque, des phosphates et des matières hydrocarbonées, pour la vie et la multiplication des globules de levûre. Et rapprochant de la levûre les plus jeunes tissus des végétaux : « Je comprends, me dit-il, qu'il y ait toujours réunis dans les séves des végétaux, du sucre, des sels d'ammoniaque et des phosphates. Ce doit être à leur aide que se forme la cellule. » J'ai eu l'occasion de relire dans le cours de mes recherches les remarquables travaux de M. Payen sur la composition des végétaux, et je dois avouer que les nombreux rapports que l'on peut établir entre la levûre et les cellules des jeunes organes des plantes se présentaient à chaque instant à mon esprit.

Le lecteur fera bien de rapprocher aussi des recherches qui précèdent les travaux de M. Mirbel sur le cambium, et les écrits plus récents sur le rôle des phosphates dans la vie des plantes.

petites vésicules à parois élastiques, pleines d'un liquide qui est associé à une matière molle plus ou moins granuleuse et vacuolaire logée de préférence immédiatement au-dessous de la paroi ; mais elle gagne peu à peu le centre à mesure que le globule vieillit.

La paroi de la cellule est élastique. En effet, quand une goutte d'eau remplie de jeunes globules de levûre se dessèche sur une lame de verre posée sur le porte-objet du microscope, le retrait de la goutte qui se divise par l'introduction de l'air amène des pressions des globules les uns contre les autres, et on les voit alors se déformer et devenir plus ou moins polyédriques.

Le contenu des globules, surtout le contenu central, est liquide : cela est prouvé par la présence dans la plupart des globules adultes d'une ou de plusieurs granulations intérieures, agitées du fourmillement propre au mouvement brownien. Il serait assez difficile de dire si c'est un mouvement brownien réel. La cause de ce mouvement, probablement toute physique, est trop peu connue encore pour que l'on sache si elle peut agir ou non à travers l'enveloppe des globules sur les granulations les plus libres du centre de ces globules. Quoi qu'il en soit, le fait que je signale ne permet pas de douter de l'état plus ou moins liquide de l'intérieur des globules.

Le bourgeonnement des globules, qui constitue l'importante découverte de M. Cagniard de Latour, se fait, d'après M. Mitscherlich, comme le représente le passage de la *fig. 3* à la *fig. 4*, c'est-à-dire que le nouveau globule débute

Fig. 3.



Fig. 4.



Fig. 5.



Fig. 6 (1).



par une simple proéminence. Mes propres observations

(1) La *fig. 6* représente un globule de levûre dans lequel les granulations intérieures se sont amassées vers la paroi centrale de l'enveloppe de manière

m'ont convaincu de l'exactitude de cette opinion de M. Mitscherlich. J'ai vu cela maintes fois de la façon la plus nette. Bientôt le petit bourgeon, tout en restant attaché, soudé au gros, paraît avoir son enveloppe propre, et constituer à lui seul un globule réel. Les mouvements du liquide ne peuvent le détacher que quand il a pris à peu près le volume du globule-mère. Jusque-là sa soudure est assez intime et résistante.

Le bourgeon est-il né, comme quelques personnes le prétendent, par l'effet du contact, de la pression contre la paroi interne d'une des granulations du globule ? Je n'ai rien vu qui autorise cette opinion, et je la crois inexacte.

D'une part, les globules translucides, sans granulations apparentes, sont de tous les globules les plus propres au bourgeonnement; d'autre part, le développement des granulations paraît lié à l'âge plus ou moins avancé des globules, et il y en a d'autant plus, que le globule est plus vieux, moins actif, moins capable de bourgeonner.

Je ne crois pas davantage à un fait admis par M. Mitscherlich, et déjà avancé par MM. Cagniard de Latour et Turpin, à savoir que les globules de levûre crèvent souvent et épanchent leur contenu granuliforme qui répand dans le liquide des séminules, lesquelles grossissent et deviennent des globules de levûre ordinaire.

Je puis affirmer que jamais dans le cours de trois années des observations les plus assidues et les plus multipliées sur la levûre de bière, dans les conditions les plus extrêmes de son développement, je n'ai une seule fois rencontré ce fait.

à laisser en quelque sorte deux cavités libres. On a figuré dans chacune de ces cavités une petite granulation isolée. Quand les choses se présentent ainsi, et cela est très-fréquent, les petites granulations libres sont agitées vivement d'un mouvement de fourmillement pareil au mouvement brownien. Il n'y a souvent qu'une cavité. C'est ce mouvement de la granulation qui me paraît prouver que la cavité est pleine d'un liquide assez fluide.

Il y a une circonstance bien décisive contre lui, c'est le volume uniforme des globules d'une levûre en voie d'action sur le sucre. Ceux qui sont de taille inférieure à la moyenne ne sont pas libres, mais fixés à des globules plus gros sous forme de bourgeons. Or il est clair que si la levûre se reproduisait par les granulations épanchées des gros globules, on aurait toutes les tailles des globules parmi ceux qui sont libres.

Les auteurs allemands, M. Mitscherlich entre autres, distinguent deux espèces de levûre. Ils appellent l'une levûre *supérieure*, l'autre levûre *inférieure*, cette dernière, servant à la fabrication de la bière de Bavière, se produisant et agissant à une plus basse température que l'autre. La levûre supérieure serait plus active. Les chimistes allemands disent que cette seconde espèce de levûre bourgeonne, et que c'est ainsi qu'elle se reproduit; mais la levûre inférieure se développerait, suivant eux, par les granulations épanchées des globules arrivés à maturité (1).

Je n'oserais aller trop loin dans mon opinion sur des faits que je n'ai peut-être pas été à même de rencontrer dans mes recherches, avec les caractères particuliers sous lesquels on a pu les étudier en Allemagne. Cependant je ne puis m'empêcher d'émettre des doutes sur l'existence de ces deux espèces de levûre de bière.

La levûre est quelquefois plus légère, quelquefois plus lourde. Elle est plus légère quand elle est jeune. La vieille est plus lourde et plus portée à se tasser. Elle ne contient presque pas de liquide à l'intérieur de ses globules tout remplis de granulations. La différence m'a paru toujours très-marquée entre la densité de la levûre jeune et de la levûre vieille plus ou moins épuisée, et nul doute que par

(1) MITSCHERLICH, Sur la fermentation (*Annales de Poggendorf*, tome LIX; 1843.)

le mouvement gazeux des cuves il n'y ait à la surface de la levûre jeune, active, propre au bourgeonnement, et au fond de la levûre vieille, de plus lente action sur le sucre; mais ce sont là deux levûres identiques, à deux époques différentes de leur vie et de leur action.

Toutes les études que j'ai faites m'obligent à rejeter l'opinion de l'existence de deux levûres ayant des modes de reproduction différents, et j'ai la confiance qu'en reprenant l'examen attentif des levûres supérieure et inférieure, on arrivera à partager mon sentiment.

Je ne nie d'ailleurs aucun des effets propres attribués aux levûres supérieure et inférieure. Mes recherches servent plutôt à les expliquer (1).

Suivons maintenant la levûre depuis le moment où elle est mise en présence du sucre.

Placée dans l'eau pure ou dans l'eau sucrée, la levûre cède une partie de ses principes liquides ou solubles qui se répandent dans la liqueur. Il est bien facile de s'en convaincre. Si la levûre est délayée avec de l'eau froide ou chaude, que l'on filtre, il y aura des matières albuminoïdes et minérales dans la liqueur filtrée. Or nous savons que, prises à part, ces matières mêlées avec du sucre et à une trace de levûre fraîche font développer et multiplier celle-ci, et que le sucre fermente. Le même effet se produira évidemment avec plus d'intensité et d'énergie quand on laissera dans la liqueur toute la levûre.

(1) J'ai déjà fait remarquer qu'il résultait de mes analyses des fermentations alcooliques que la levûre de bière âgée, granuleuse, qui a perdu de son activité par un commencement d'épuisement, soit en dédoublant du sucre, soit en transformant ses propres tissus comme je l'expliquerai plus loin, fournit plus de glycérine et d'acide succinique et moins d'alcool que la levûre jeune, turgide, translucide, peu granuleuse. On comprend facilement qu'à ses divers âges, la levûre ait des manières de vivre un peu différentes, indépendamment des modifications que la nature du milieu et les conditions extérieures peuvent provoquer.

L'expérience de production de la levûre et de fermentation du sucre dans un milieu formé de sucre, de sel d'ammoniaque, de phosphates, nous a montré clairement que la levûre vivait et faisait fermenter le sucre dès qu'elle était en présence :

- 1° Du sucre,
- 2° D'une matière azotée,
- 3° De matières minérales phosphatées.

Or la levûre porte en elle-même ces principes azotés et minéraux immédiatement solubles, au moins partiellement, de telle sorte qu'au moment où elle est ajoutée à de l'eau sucrée, elle a exactement tout ce qu'il lui faut pour vivre.

Jamais le sucre n'éprouve la fermentation alcoolique sans que des globules de levûre soient présents et vivants; et réciproquement il ne se forme de globules de levûre de bière sans qu'il y ait présence de sucre ou d'une matière hydrocarbonée et sans qu'il y ait fermentation de ces matières. Ce que l'on a écrit de contraire à ces principes repose sur des expériences inexactes ou incomplètes.

Tous les ouvrages de chimie présentent la fermentation alcoolique comme pouvant s'accomplir dans deux circonstances très-distinctes, suivant que la levûre est ajoutée à de l'eau sucrée pure ou à de l'eau sucrée mélangée de matières albuminoïdes : dans le premier cas, dit-on, le ferment agit, mais ne se reproduit pas; dans le second il agit, mais se reproduit : c'est le cas de la fabrication de la bière.

« Si la fermentation, dit M. Liebig, était une conséquence du développement et de la multiplication des globules, ils n'exciteraient pas la fermentation dans l'eau sucrée pure, qui manque des conditions essentielles à la manifestation de l'activité vitale. Cette eau ne renferme pas la matière azotée nécessaire à la production de la partie azotée des globules. Dans ce cas, ajoute-t-il, les globules déterminent la fermentation, non parce qu'ils

» continuent de se développer, mais par suite de métamor-
 » phoses de leur partie interne azotée qui se décompose en
 » amoniacque et en d'autres produits, c'est-à-dire par
 » suite d'une décomposition chimique qui est tout l'opposé
 » d'un acte organique. »

Les faits que j'ai rapportés tout à l'heure sont en opposition évidente avec cette manière de voir, et j'ai la certitude que les phénomènes sont à peu de chose près les mêmes, que la levûre soit employée dans l'eau sucrée pure ou dans l'eau sucrée mêlée de matières albuminoïdes. Dans les deux cas la levûre s'organise et se multiplie : seulement dans le premier, lorsque la fermentation est terminée, tous les globules, jeunes et vieux, sont privés de matière azotée soluble. Ce qu'il y avait d'aliment azoté sous cette forme s'est fixé à l'état insoluble sur les globules de formation nouvelle. L'ensemble de ces globules n'a donc pas d'action possible sur de l'eau sucrée pure. Il n'y a plus d'aliment azoté pour les globules qui seraient assez jeunes pour agir et se multiplier encore. Au contraire, dans le cas de la fermentation en présence d'une matière albuminoïde, il y a bien des globules qui s'épuisent, mais la plupart des nouveaux sortent du liquide remplis de matières azotées et minérales et tous propres à vivre à l'aide de ces aliments dans de nouvelle eau sucrée.

D'autres observations, dont on a exagéré l'importance sans en vérifier l'exactitude, ont contribué à jeter dans ces études une grande obscurité. On trouve dans le Mémoire de M. Thenard que 20 parties de levûre de bière et 100 de sucre ont laissé, après avoir complètement fermenté, 13,7 parties d'un résidu insoluble qui, mis en contact d'une nouvelle quantité de sucre, s'est réduit à 10 parties. Nous verrons tout à l'heure combien cette observation est incomplète et erronée, prise dans ces termes exclusifs.

Quoi qu'il en soit, tout le monde pensait que, dans la fermentation avec levûre et eau sucrée, une partie de la levûre

se détruit, et l'on ajoutait : Combien n'est-ce pas différent de ce qui se passe lorsque la levûre est placée dans de l'eau sucrée mêlée de matières azotées? Par exemple, dans la fabrication de la bière « le ferment, loin de se détruire, se » développe par bourgeonnement et augmente considéra- » blement en proportion. C'est que les matières albumi- » noïdes de la liqueur sont propres à la nutrition des glo- » bules et le brasseur retrouve six à sept fois plus de levûre » qu'il n'en a mis. »

Tout cela a été bien mal interprété. Pour ce qui est de la quantité de levûre que le brasseur retrouve à la fin de l'opération, on aurait pu dire tout aussi bien qu'il en recueille un nombre quelconque de fois plus qu'il n'en a employé; car si le brasseur n'ajoutait que quelques globules de levûre, il y aurait fermentation, dépôt de levûre aussi bien que dans le cas où il en met une assez forte proportion. Seulement la fermentation serait plus lente et pourrait devenir lactique, ce qui a conduit à la pratique de l'addition de $\frac{1}{6}$ ou $\frac{1}{7}$ de la levûre qui peut se former.

Mais examinons les choses de plus près, et nous arriverons à nous convaincre que dans la fermentation des sucres en présence des matières albuminoïdes *il ne se fait pas plus et même moins de levûre* que dans le cas où l'on effectue la fermentation avec de l'eau sucrée pure.

Je citerai d'abord quelques observations sur des fermentations avec levûre et eau sucrée pure, dans lesquelles on a pesé la levûre employée, la levûre recueillie et la partie soluble de la levûre restant après l'opération. Je rapporterai ensuite des résultats relatifs aux fermentations en présence de matières albuminoïdes.

I. POIDS de sucre candi bien cristallisé et pur.	II. POIDS de levûre lavée à l'état frais ou pâte plus ou moins molle.	III. POIDS de la levûre desséchée à 100 degrés.	IV. POIDS de la levûre déposée après la fermentation desséchée à 100 degrés.	V. POIDS de l'extrait, partie soluble de la levûre restant dans le liquide fermenté et insoluble dans le mélange d'alcool et d'éther.	VI. SOMME des poids de la levûre déposée après la fermentation et de la partie soluble extractive restant dans la liqueur fermentée.	EXCÈS de cette somme sur le poids de levûre mise en fermentation.
A	100 gr 20,000	4,626 gr	3,230 gr	2,320 gr	5,550 gr	0,934 gr
B	50 10,000	2,213 4,604	2,001 4,385	0,819 Non déterminé.	2,820 "	0,407 "
C	100 16,000	4,604 2,313	2,486 2,965	1,080 0,664	3,566 3,929	1,253 1,303
D	100 10,000	2,626 1,198	2,965 1,700	0,631 Non déterminé.	2,331 "	1,133 "
E	100 13,700	0,699 0,326	0,712 0,335	Id.	"	"
F	100 6,254	0,476	0,590	0,133 *	0,723	0,247
G	16 3,159					
H	4 1,474					
I	20 1,878					

* On remarquera que la colonne V ne comprend pas le poids de matière extractive fixée sur le succinate de chaux. Voir I^{re} partie, §§ II et III. Les nombres de la colonne V sont donc un peu faibles, de 1 à 2 ou 3 décigrammes en général pour 100 de sucre. Cela varie avec les proportions de levûre employée.

Il résulte des nombres de ce tableau que dans le cas où l'on emploie une quantité de levûre en pâte s'élevant, par exemple, de 15 à 20 pour 100 du poids du sucre, on recueille après la fermentation moins de levûre qu'on n'en avait mis : A, B, C. Or c'est précisément dans ces conditions que M. Thenard s'était placé ; il avait employé 20 parties de levûre en pâte pour 100 de sucre. Ce sont aussi les proportions qu'il recommande dans son *Traité de Chimie* (1).

Mais lorsqu'on descend à un poids de levûre en pâte qui n'est plus que 10 pour 100 et au-dessous, du poids du sucre, alors on recueille plus de levûre qu'on n'en a employé : D, E, F, G, H, I.

Et, dans tous les cas, si l'on a soin de déterminer le poids de matière extractive azotée, provenant de la levûre, qui est en dissolution dans la liqueur fermentée, on trouve qu'ajouté au poids de levûre après la fermentation il dépasse très-sensiblement le poids total de levûre primitif. L'augmentation s'élève environ à 1, 2 ou 1, 5 pour 100 du poids du sucre.

La disparition de la levûre dans l'expérience de M. Thenard n'est donc qu'apparente. On a recueilli moins de levûre, parce qu'on en avait employé beaucoup pour la fermentation, et que ce qui s'en était dissous avait été supérieur au poids des nouveaux globules formés. De là, et ne tenant aucun compte de la matière dissoute, il y a eu une diminution apparente dans le poids de la levûre.

Les principes que la levûre cède à la liqueur dépendent, et de sa solubilité naturelle et de la solubilité des maté-

(1) M. Regnault, sans insister autrement, s'exprime ainsi dans son *Traité de Chimie*, tome IV, page 185, 4^e édition. « On a reconnu que la levûre augmente d'environ le quart de son poids. » J'ignore à quelle source M. Regnault a puisé cette indication, contraire à l'assertion de M. Thenard, mais vraie d'une manière générale, dans certaines circonstances, comme l'est dans d'autres le résultat de M. Thenard.

riaux qu'isole en elle le travail de la fermentation (1).

Voyons maintenant ce qui se passe lorsqu'il y a présence et excès de matières albuminoïdes étrangères.

Je fais dissoudre 9^{gr},899 de sucre candi pur, et j'ajoute à la liqueur 20 centimètres cubes d'un liquide limpide préparé en faisant bouillir de la levûre de bière fraîche avec de l'eau distillée et filtrant la liqueur. Ces 20 centimètres cubes de liquide renfermaient 0^{gr},334 de matière albuminoïde et minérale très-propre à la vie des globules de levûre. Puis je dépose, après avoir porté le volume à 100 centimètres cubes, une trace de levûre fraîche qui se multiplie et provoque la fermentation totale du sucre, laquelle a été complète onze jours après.

Je recueille alors toute la levûre formée. Elle pèse sèche 0^{gr},152.

Le liquide fermenté, évaporé, traité par le mélange d'alcool et d'éther pour enlever la glycérine et l'acide succinique, laisse un résidu insoluble, azoté, capable de servir à de nouvelles fermentations. Il pèse 0^{gr},260.

Ainsi on a employé 0^{gr},334 de substances albuminoïdes

(1) La levûre renferme des matières azotées diverses et également des matières non azotées distinctes les unes des autres. Il y aurait une étude très-intéressante à faire sur ce sujet. J'ai vu qu'on parviendrait à des résultats utiles en examinant séparément l'action de l'eau, de l'acide sulfurique étendu et de la potasse. Je crois qu'un examen de la levûre fait à ce point de vue des divers matériaux qui la composent pourrait donner le secret de certains changements qui s'observent dans la nature de l'extrait du liquide fermenté. En effet, en même temps que la levûre assimile une portion de sa matière soluble azotée et minérale, ce qui diminue son poids très-sensiblement, elle augmente au contraire par l'introduction dans la liqueur des principes solubles qu'isolent les mutations qui s'accomplissent à l'intérieur de ses globules.

Si l'on fait bouillir la levûre avec de l'acide sulfurique plus ou moins étendu, que l'on filtre, que l'on évapore après saturation par le carbonate de baryte, et que l'on précipite par l'alcool de densités variables, on isole très-distinctement des matières fort différentes les unes des autres par leurs propriétés et leur composition. Nul doute que ces matières prennent part aux mutations de la levûre pendant la vie de ses globules.

et minérales, et on a recueilli $0^{\text{gr}},152$ de levûre + $0^{\text{gr}},260$ de matière azotée et minérale non utilisée par la fermentation ou cédée par elle, ce qui donne un total de $0^{\text{gr}},412$ dont la différence à $0^{\text{gr}},334$ est de $0^{\text{gr}},078$.

Pour une fermentation de 100 grammes cela ferait environ $0^{\text{gr}},8$ d'augmentation, auxquels il faudrait ajouter une petite quantité de matière extractive enlevée par le mélange alcoolique éthéré, et qui, ainsi que nous l'avons vu, se trouve pour une part insignifiante dans la glycérine, et pour le reste fixé sur le succinate de chaux dans la méthode d'analyse que j'ai donnée des liquides fermentés.

J'ai répété bien souvent l'expérience qui précède et toujours avec les mêmes résultats sensiblement ; c'est-à-dire que dans la fermentation du sucre en présence des matières albuminoïdes il se forme à peu près 1 pour 100 (du poids du sucre) de levûre et produits solubles, un peu moins par conséquent que lorsqu'on opère avec de la levûre toute formée et de l'eau sucrée pure : nouvelle preuve que les choses se passent de la même manière dans les fermentations avec levûre et eau sucrée pure, ou avec levûre, eau sucrée et matières albuminoïdes (1).

La petite différence observée dans ces deux circonstances tient sans doute à ce que les globules, qui se forment au sein d'un milieu où l'aliment azoté est en excès, ont plus d'activité et sous un même poids décomposent plus de sucre que ceux qui prennent naissance dans un milieu appauvri en aliments minéraux ou azotés. Elle pourrait être due également à des variations dans les conditions de l'assimilation pour des globules parfaits et pour des globules-bourgeons.

L'importance des résultats que j'essaye de faire prévaloir, considérés dans leurs rapports avec la théorie générale des

(1) Lorsque je parle du poids de la levûre nouvelle qui se forme pendant la fermentation de l'eau sucrée pure sous l'influence de la levûre de bière, j'entends parler et du poids des nouveaux globules qui se forment réellement, et du poids qui s'ajoute aux anciens pendant la continuation de leur vie.

phénomènes de la fermentation, m'a engagé à chercher une confirmation de plus de leur exactitude dans des expériences qui me paraissent aussi décisives que celles qui précèdent. Je viens d'essayer de prouver que la levûre de bière placée dans de l'eau sucrée vit aux dépens du sucre et de sa matière azotée et minérale, soluble, ou pouvant le devenir par le fait des mutations qui s'effectuent entre les principes qu'elle renferme durant la fermentation.

S'il en est ainsi et pour le vérifier autant qu'il est possible, déterminons les poids de sucre que peuvent décomposer : 1^o un poids connu de levûre de bière ; 2^o la partie soluble d'un poids égal de la même levûre.

J'ai pris deux poids de levûre égaux chacun à 6^{gr},254. L'une des portions a été mise à fermenter avec 100 grammes de sucre, l'autre portion a été entretenue à l'ébullition avec de l'eau pure pendant une heure, puis filtrée, et la liqueur limpide entièrement débarrassée des globules a été mêlée à 100 grammes de sucre et à une trace impondérable de levûre fraîche pour semence.

Un essai pareil fait sur une troisième portion de la même levûre a montré que les 6^{gr},254 de la levûre cédaient à l'eau bouillante 0^{gr},325 de matière azotée et minérale avec un reste de 0^{gr},873 de produits insolubles.

Les fermentations ont eu pour ainsi dire une durée illimitée. Commencées le 1^{er} juin 1858, elles continuaient encore dans les premiers jours de septembre, époque à partir de laquelle je n'ai pu les suivre davantage.

J'ai déjà appelé l'attention du lecteur sur cette durée indéfinie des fermentations lorsqu'il y a un excès de sucre, fait remarquable et assez facile, ce me semble, à expliquer aujourd'hui. Nous savons, en effet, que les matières azotées de la levûre ne se détruisent pas. Il n'y a que des déplacements ou des modifications de ces matières, mais elles restent dans l'état complexe que nous sommes habitués à ren-

contrer dans ces produits. Celles qui sont solubles se fixent, il est vrai, en partie à l'état insoluble sur les globules, mais la puissance d'organisation des globules est telle, que l'on comprend que les globules anciens puissent céder à l'état soluble leurs matières azotées solides, pour servir d'aliment aux globules récents.

La durée interminable en quelque sorte de ces fermentations avec excès de sucre rend les expériences du genre de celles que je décris extrêmement difficiles et délicates.

Quoi qu'il en soit, après plusieurs mois j'étudiai les liqueurs et je trouvai que dans celle où la levûre avait été employée en nature la fermentation était à peu près terminée, et que dans l'autre avec principes solubles de la levûre près de 70 grammes de sucre avaient disparu. Mais il restait encore de la matière azotée dans le liquide, et nul doute qu'on aurait pu aller au delà de 70 grammes, surtout en la recueillant à part pour la faire servir à une nouvelle fermentation du même ordre. On comprend en effet toute la gêne que doit apporter à la vie des globules un aliment dilué à ce point d'être contenu dans 750 centimètres cubes d'eau, sous le poids de quelques centigrammes.

Je ne voudrais pas soutenir cependant qu'un poids donné de la partie soluble de la levûre de bière puisse faire fermenter exactement autant de sucre que le poids brut de levûre qui aurait servi à fournir cette matière soluble.

Tout me porte à croire, en effet, qu'une certaine quantité de la portion des globules insoluble dans l'eau bouillante est capable de céder à la liqueur un poids sensible de sa matière azotée pendant l'acte même de la fermentation. Néanmoins on voit par l'expérience que je viens de rapporter et que j'ai souvent répétée avec le même résultat, quelle énorme proportion du sucre fermente par le fait seul de l'organisation des matières azotées et minérales immédiatement solubles, organisation provoquée par les globules eux-

mêmes. Personne, je crois, ne pourra plus douter que la fermentation de l'eau sucrée pure ne soit réellement une fermentation qui s'effectue en présence de matières albuminoïdes et minérales (1).

Je donnerai, en terminant ce chapitre, les dosages d'azote des divers matériaux azotés d'une fermentation alcoolique où la levûre était aussi épuisée qu'il est possible.

Dans une fermentation où l'on avait employé pour faire fermenter 100 grammes de sucre, 1^{er}, 198 de levûre lavée (poids de matière sèche, la proportion d'azote de cette levûre étant de 9,77 pour 100), on a recueilli 1,745 de levûre après la fermentation. Cette levûre renfermait 5,5 pour 100 d'azote. Le résidu extractif du liquide fermenté insoluble dans le mélange d'alcool et d'éther pesait 0,600 et contenait 3,8 pour 100 d'azote.

La matière extractive souillant le succinate de chaux pesait 0,500 et ne contenait que $\frac{1}{2}$ pour 100 d'azote. Purifiée, elle n'en contient pas.

Ces dosages d'azote ont été effectués sur les produits de la fermentation où j'ai le plus épuisé la levûre, et l'on voit que la levûre après la fermentation contenait encore une forte proportion d'azote. D'ailleurs sa diminution, comparée à celle de la levûre brute employée, s'explique immédiatement en remarquant d'une part que 1, 198 sont deve-

(1) Les faits qui précèdent soulèvent la question intéressante de savoir s'il se fait autant de globules nouveaux avec un poids donné de levûre qu'avec la partie immédiatement soluble d'un poids égal de cette levûre, agissant tous deux respectivement sur une même quantité de sucre.

Il n'est pas douteux que les globules adultes peuvent continuer leur vie pendant un certain temps et décomposer du sucre sans bourgeonner et sans se multiplier. Mais il n'est pas moins certain qu'il s'en forme beaucoup de nouveaux et que c'est à ces derniers qu'est due, pour une bonne part, la transformation du sucre. Ainsi il est facile de voir, fixée sur les parois verticales du vase de verre où s'effectue une fermentation, beaucoup de cette levûre nouvelle formée pendant la fermentation même aux dépens de la partie minérale et azotée soluble de la levûre, primitivement ajoutée à la liqueur.

nus 1,700 aux dépens du sucre, matière dépourvue d'azote; et de l'autre que ce même poids de levûre 1,198 a diminué en cédant au liquide de la matière azotée soluble, puisqu'on retrouve 0,600 de produits solubles; s'ils ne viennent pas entièrement de la levûre, ils sont fournis par elle en bonne part, puisqu'ils sont azotés. C'est là la double cause de la diminution de l'azote de la levûre pendant la fermentation : 1^o augmentation de poids par le fait du sucre; 2^o diminution de poids par le fait de la solubilité de certains principes azotés de la levûre (1).

(1) Les figures ci-contre représentent :

La *fig. 7*, de la levûre en voie de formation rapide dans de l'eau sucrée mêlée de matières albuminoïdes et minérales. Les globules sont translucides,

Fig. 7.



peu ou point granuleux, à contours très-nets. Les bourgeonnements sont nombreux. Il n'y a presque pas de globules isolés. On ne voit guère que des paquets rameux de globules en chapelets.

La *fig. 8*, de la levûre fraîche sortant de la brasserie, à contours très-acçusés, se dessinant en noir dans le champ du microscope. Les granulations

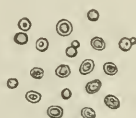
Fig. 8.



sont encore peu distinctes. Il n'y a pas de bourgeons. Les globules sont presque tous disjoints et libres.

La *fig. 9*, de la levûre à peu près épuisée. Beaucoup de globules très-gran-

Fig. 9.



eux dont les contours sont à peine sensibles. Il y a en apparence deux en-

§ V. — *Dans toute fermentation alcoolique une partie du sucre se fixe sur la levûre à l'état de cellulose.*

Le fait de la production de la levûre alcoolique dans un milieu composé de sucre pur et de phosphates montre toute la part que le sucre prend à la formation de la levûre au moins dans ces conditions particulières.

Il ne peut être douteux : 1^o que la cellulose de la levûre soit constituée par les éléments du sucre, 2^o que l'ammoniac se combine avec une autre partie du sucre pour former les matières albuminoïdes solubles et insolubles des globules.

Les choses se passent-elles d'une manière analogue dans le cas de la fermentation du sucre en présence des matières albuminoïdes ?

Les expériences dans le détail desquelles j'entrerai tout à l'heure ne laisseront à cet égard aucun doute. Elles établissent en effet qu'il y a plus de cellulose dans la levûre après qu'avant la fermentation. De telle sorte qu'en les rap-

veloppes. On ne peut dire si elles existent réellement, ou s'il n'y en a qu'une seule très-épaisse, dont on distinguerait la paroi interne et la paroi externe.

M. Mitscherlich s'exprime ainsi dans son Mémoire du tome VII des *Annales* que j'ai déjà cité : « Quand on prend des globules parfaitement organisés, ils ne subissent presque pas de changement pendant la fermentation. »

Plus loin, à la page 31, il ajoute : « En employant des globules de ferment parfaits pour provoquer la fermentation du sucre, je n'ai pas remarqué qu'ils se développassent. »

Ces observations de M. Mitscherlich sont complètement en désaccord avec les miennes : 1^o les globules adultes parfaitement organisés s'altèrent profondément pendant la fermentation ; 2^o les globules parfaits se développent, se multiplient, pendant la fermentation de l'eau sucrée pure ou dans l'eau sucrée mêlée aux matières albuminoïdes.

prochant de celles dont je viens de rappeler les résultats, elles rendent extrêmement probable, sinon certain, que toute la cellulose des globules de levûre est constituée par les éléments du sucre (1).

Que se passe-t-il d'autre part entre le sucre et les matières albuminoïdes, quand le sucre fermente en présence de ces matières? Y a-t-il encore une fixation du sucre comme cela avait lieu indubitablement avec l'ammoniaque? Les matières albuminoïdes solubles des globules ne sont-elles pas par elles-mêmes aptes à entrer dans la constitution des globules, à s'y fixer à l'état solide, uniquement par une sorte de changement isomérique? Faut-il, comme dans le cas de l'ammoniaque, que le sucre intervienne, les modifie en leur cédant tout ou partie de ses éléments? C'est là un des points les plus délicats de ces études. Il y aurait témérité à assimiler à priori les deux modes de fermentation avec ammoniaque et avec matières azotées complexes, et d'affirmer par analogie que le sucre doit intervenir aussi dans le second cas pour modifier les matières albuminoïdes et les rendre propres à la nourriture des globules. Nous verrons cependant que l'augmentation de poids de la levûre due à la cellulose fixée ne suffit pas pour rendre compte de l'augmentation de poids totale de la levûre pendant la fermentation; c'est-à-dire que si l'on ajoute au poids de la levûre employée tout le poids de cellulose fixée pendant la

(1) J'ai reconnu dans le cours de mes recherches un genre de fraude que je crois récent, employé par quelques marchands de levûre, et contre lequel il faut se prémunir. Il consiste dans une addition quelquefois considérable de fécule de pommes de terre dans la levûre de bière destinée aux boulangers. Un examen microscopique de la levûre en avertit bien facilement. Les grains de fécule se dissolvent pendant la fermentation, mais en quantité très-minime, contrairement à ce que l'on aurait pu présumer, puisque le liquide s'acidifie progressivement. Dans les fermentations de longue durée on voit nettement beaucoup de globules de fécule rongés à la surface et en partie dissous et désagrégés.

fermentation, on n'atteint pas le poids total de la levûre et de sa partie soluble tel qu'on le trouve après que la fermentation est achevée.

Il n'est donc pas possible de douter qu'en dehors de la formation de la cellulose une partie sensible du sucre se fixe sur la levûre. Mais s'y fixe-t-elle en modifiant la matière azotée, comme dans le premier cas elle se fixe sur l'ammoniaque pour la rendre apte à entrer dans le corps des globules ?

Je suis porté à le croire, mais il y aurait imprudence à l'affirmer. Je n'ai pas de preuves décisives. Ainsi la différence entre l'augmentation totale du poids de la levûre et le poids de cellulose fixé pourrait s'expliquer par la production d'un ou plusieurs corps particuliers dont aucun n'interviendrait dans les modifications que subissent les matières azotées.

Cette étude de l'influence des matières hydrocarbonées dans la formation des substances albuminoïdes offre un grand intérêt ; mais elle est bien délicate et les faits demandent à être interprétés avec beaucoup de prudence.

Ces conditions générales étant posées, étudions la proportion de cellulose de la levûre avant et après la fermentation.

J'ai mis en fermentation :

100 grammes de sucre.

750 centimètres cubes d'eau environ.

2,626 levûre (poids de matière sèche).

Après la fermentation, qui a duré vingt jours, j'ai recueilli 2^{gr},965 de levûre (poids de matière sèche). J'ai alors fait bouillir avec de l'acide sulfurique étendu de 20 fois son poids d'eau pendant plusieurs heures (de six à huit heures) deux poids déterminés de la levûre fermentée et de la même levûre avant la fermentation.

Le poids de la levûre fermentée était de 1,707 et le poids

de la levûre non fermentée de 1,730 pris à 100 degrés.

Les résidus insolubles dans l'acide sulfurique ont été recueillis sur des filtres tarés et desséchés à 100 degrés. Quant aux liqueurs, après avoir saturé leur acide par le carbonate de baryte à l'ébullition, j'ai déterminé la proportion de sucre qu'elles contenaient, tant par la liqueur de Fehling, que par la quantité d'acide carbonique fourni par la fermentation.

En réduisant les résultats obtenus aux poids de levûre 2,626 et 2,965, on trouve que 2,626 de levûre brute donnent un résidu insoluble azoté égal à 0,391 (soit 14,8 pour 100), et 0,532 de sucre fermentescible; tandis que les 2,965 fournissent un résidu azoté de 0,634 (soit 21,4 pour 100), et 0,918 de sucre fermentescible. Il résulte de là :

1°. Que dans la fermentation de 100 grammes de sucre opérée par 2,626 de levûre de bière, il s'est fixé environ 0,4 de matière hydrocarbonée transformable par l'acide sulfurique étendu en sucre fermentescible;

2°. Qu'il y a une augmentation sensible de celles des matières azotées qui sont insolubles dans l'acide sulfurique étendu.

Ce dernier résultat est une preuve nouvelle que pendant la fermentation il y a fixation à l'état insoluble des matières albuminoïdes solubles que renferme la levûre active.

Il restait à savoir si par l'ébullition avec l'acide sulfurique étendu j'avais bien dissous toute la cellulose. Afin de le reconnaître, j'ai déterminé la proportion de cellulose de la levûre brute par la méthode de M. Schlossberger. J'ai dit que M. Schlossberger utilisant la potasse, réactif si souvent employé par M. Payen dans ses recherches pour dissoudre les matières albuminoïdes, avait réussi à enlever celles de la levûre à peu près complètement en laissant pour résidu une matière de la composition de la cellulose et transformable par l'acide sulfurique en sucre fermentescible.

J'ai traité par la potasse trois portions de levûre lavée

pesant chacune 4^{gr},757 après dessiccation à 100 degrés.

La première a été mise en digestion avec de la potasse concentrée de densité égale à 1,25 ; la deuxième avec une solution à 10 pour 100 ; la troisième avec une solution à 5 pour 100 de potasse caustique.

Le contact a duré huit jours, et tous les jours on plaçait les flacons pendant deux heures au bain-marie.

On a ensuite filtré et lavé à l'acide acétique, puis desséché les filtres à 100 degrés.

Les résidus insolubles, formés de matière hydrocarbonée transformable en sucre par l'ébullition avec l'acide sulfurique étendu et ne laissant après ce traitement qu'une quantité de matière à peine sensible, ont été dans les trois essais de 17,77, 19,29, et 19,21 pour 100 du poids de levûre sèche.

Or les 0,532 de sucre fournis sans l'intermédiaire de l'action de la potasse par 2^{gr},626 de levûre correspondent à 20,2 pour 100 du poids de la levûre. L'ébullition avec l'acide sulfurique étendu avait donc bien enlevé toute la cellulose.

Les résultats qui précèdent accusent une proportion de cellulose dans la levûre moindre que celle donnée par M. Payen ; mais je ferai observer d'une part que le dosage effectué par M. Payen paraît avoir été indirect, et il est bien évident d'autre part, d'après tout ce que nous venons de dire, que la proportion de cellulose de la levûre varie avec son âge et son action plus ou moins prolongée sur le sucre. Ainsi nous venons de reconnaître que la levûre recueillie après la fermentation avait fourni 0,918 de sucre pour un poids de matière égal à 2,965, ce qui indique 31,9 pour 100 de cellulose, nombre plus élevé de 11 pour 100 qu'il n'était avant la fermentation.

Je n'ai pas besoin de faire remarquer que cette augmentation considérable du poids de la cellulose dans la levûre pendant qu'elle exerce son action sur le sucre, est encore

une preuve à ajouter à toutes celles que j'ai données de la vie de la levûre pendant la fermentation alcoolique.

§ VI. — *Dans toute fermentation alcoolique une partie du sucre se fixe sur la levûre à l'état de matières grasses.*

Depuis longtemps Braconnot a signalé la présence de matières grasses dans la lie, qui n'est autre chose, pour une bonne partie, que de la levûre de vin. L'analyse précédemment citée de M. Payen donne 2 pour 100 de matières grasses dans la levûre de bière.

On croit généralement que les substances grasses de la levûre sont empruntées aux substances grasses de l'orge ou des autres corps qui servent à préparer la levûre. J'ai reconnu par une expérience directe, très-facile à reproduire, que pendant la fermentation la levûre forme elle-même sa graisse à l'aide des éléments du sucre.

Je mêle à de l'eau sucrée, préparée avec du sucre candi très-pur, de l'extrait d'eau de levûre limpide traité à plusieurs reprises par l'alcool et l'éther. A la solution mixte j'ajoute comme semence une quantité pour ainsi dire impondérable de globules frais de levûre. Ils se multiplient, le sucre fermente, et j'arrive de cette façon à préparer quelques grammes de levûre au moyen de substances ne contenant pas la plus petite quantité de matières grasses. Or je trouve que la levûre formée dans ces conditions renferme néanmoins de 1 à 2 pour 100 de son poids de corps gras facilement saponifiables et à acides gras cristallisables. Cette graisse ne peut provenir que des éléments du sucre ou des éléments de la matière albuminoïde; mais j'ai constaté d'autre part que la levûre préparée dans un milieu formé d'eau, de sucre, d'ammoniaque et de phosphates renferme également de la matière grasse. C'est donc aux éléments du sucre que la matière grasse de la levûre est empruntée.

Ces expériences rappellent par leurs dispositions celles que MM. Dumas et Milne Edwards ont exécutées en

commun pour vérifier les observations de Huber sur l'origine de la cire des abeilles. Elles apportent une confirmation aux vues que M. Dumas a depuis longtemps émises sur la formation possible des matières grasses à l'aide des sucres (1).

§ VII. — *Vitalité permanente des globules de levûre.*

Lorsque j'ai voulu, suivant l'exposition que j'en ai faite dans l'un des précédents chapitres, confirmer les résultats que j'avais obtenus sur la présence de l'acide succinique et de la glycérine dans les liqueurs fermentées par le dosage exact de l'acide carbonique, j'ai rencontré des difficultés singulières. Tantôt j'arrivais à des nombres satisfaisants, tantôt le volume de l'acide carbonique dépassait le résultat calculé, sans qu'aucune explication légitime en pût être trouvée.

Peu à peu, je reconnus que la cause des divergences dans les résultats pourrait bien être due à l'emploi de trop fortes proportions de levûre, que l'on est toujours enclin à exagérer dans les opérations, sur de petites quantités de sucre. Je fus mis sur la voie de la vérité par le fait suivant : Dans un but particulier, qu'il est inutile d'indiquer ici, j'avais mis à fermenter 5 grammes de sucre avec 10 grammes de levûre en pâte équivalant à 2^{sr},155 de matière sèche, poids de levûre bien supérieur à ce qui est nécessaire pour transformer 5 grammes de sucre. Or je fus très-surpris de voir que cette fermentation ne s'achevait pas très-franchement, et qu'elle avait une tendance à se prolonger par un dégagement de gaz très-faible, comme il arrive quand le sucre est au contraire en grand excès par rapport à la levûre. En outre, la liqueur, étudiée par le réactif cuivrique de Fehling, ne renfermait pas la moindre quantité de sucre, mal-

(1) Voir à ce sujet *Annales de Chimie et de Physique*, 3^e série, tome VIII, pages 70 et suivantes ; 1843.

gré l'indication contraire donnée par le dégagement de gaz carbonique.

Je disposai alors dans des ballons renversés sur le mercure les fermentations suivantes :

I.	Sucre candi.....	1,313
	Levûre de vin dépôt des tonneaux soutirés	6,950
	Eau pure.....	9,336
II.	Sucre candi.....	1,4425
	Levûre de bière (contenant 2,150, poids de matière sèche).....	10,000
	Eau pure.....	9,210

Deux jours après, le dégagement de gaz est encore sensible dans les ballons, et cependant le premier renferme 360 centimètres cubes de gaz et le second 387^{cc},5 à 0 degré et 760 millimètres.

Les quantités théoriques, même abstraction faite de l'acide succinique et de la glycérine, sont 341^{cc},8 et 375^{cc},5.

Le gaz, malgré cet excès de volume, était complètement absorbable par la potasse. C'était de l'acide carbonique pur.

Il n'était donc pas possible de douter que dans le cas où l'on emploie une forte proportion de levûre on obtienne un volume de gaz carbonique pur bien supérieur à celui qu'indique l'équation théorique de Lavoisier, qui pêche déjà par excès. Afin de mieux étudier ce phénomène très-inattendu, j'exagérerai encore davantage le poids de la levûre. Le résultat des essais que j'entrepris dans cette direction ayant toujours été le même, je ne rapporterai qu'une expérience : 0^{gr},424 de sucre candi ont été mis à fermenter avec 10 grammes de levûre (poids de matière sèche). Le surlendemain le volume total du gaz acide carbonique s'élève à 300 centimètres cubes, près de 3 fois supérieur au volume théorique, qui n'est que de 110 centimètres cubes.

Il y avait un grand intérêt à savoir si cet acide carbonique

en excès était le résultat d'une véritable fermentation alcoolique s'exerçant sur les matières hydrocarbonées de la levûre. A cet effet, j'ai recueilli et distillé tout le liquide mêlé à la levûre et à une certaine quantité d'eau de baryte qui avait servi à reconnaître que le gaz formé était de l'acide carbonique sans mélange d'hydrogène ou d'autre gaz. 50 centimètres cubes de liquide alcoolique ont été recueillis et ont été distillés une seconde fois, et le nouveau liquide étudié à l'aide d'un très-petit alcoomètre. Afin d'être bien sûr des indications de cet alcoomètre, j'ai composé plusieurs liquides avec des mélanges d'eau et d'alcool absolu en poids connus, et j'ai étudié par comparaison ces divers mélanges et le liquide distillé de manière à comprendre celui-ci entre deux liquides de composition connue.

J'ai trouvé ainsi dans le cas présent un peu plus de 0^{sr},6 d'alcool absolu.

Il s'est donc formé beaucoup plus d'alcool que le sucre employé ne pouvait en fournir et une quantité en rapport avec le volume de gaz carbonique total.

Nous avons bien affaire à une véritable fermentation alcoolique.

Ainsi, lorsque l'on mêle à de la levûre un poids de sucre proportionnellement très-faible, après qu'il a été décomposé, l'activité de la levûre continue, s'exerçant sur ses propres tissus avec une énergie et une rapidité extraordinaires, qui vont se ralentissant de plus en plus.

Ce phénomène offre plusieurs particularités très-dignes d'intérêt :

1°. Si l'on met fin à la fermentation au moment où il y a un volume d'acide carbonique formé égal ou très-peu supérieur à celui qui correspond au poids du sucre employé, on ne trouve plus de sucre dans la liqueur. Il résulte de là que la levûre exerce son action sur le sucre avant de l'exercer sur elle-même. Elle se nourrit de sucre tant qu'il y en a, et lorsqu'il est épuisé, sa vie ne peut s'arrêter subitement

et elle continue aux dépens des matériaux qu'elle trouve dans ses propres tissus.

2°. Il faut noter l'activité considérable de la fermentation secondaire succédant à celle du sucre.

3°. L'effet produit par la levûre sur elle-même n'est pas du tout proportionnel au poids de levûre. Il croit bien plus rapidement. Je vais entrer dans quelques détails sur ce point qui a beaucoup d'importance. M. The-nard et tous les auteurs avec lui recommandent pour obtenir une bonne fermentation alcoolique l'emploi d'une quantité de levûre égale à 20 pour 100 du poids du sucre, soit 5 pour 100 environ si la levûre est prise à l'état sec. On peut augmenter ou diminuer cette proportion de levûre sans qu'il se présente rien de particulier, si ce n'est une durée moindre ou plus grande du phénomène. Il m'est arrivé souvent de faire fermenter le sucre avec 1 pour 100 de son poids de levûre (poids de matière sèche), et encore cette levûre avait été lavée, ce qui diminue son activité. On peut même descendre au-dessous de ce chiffre.

Il semblerait dès lors que, dans tous les cas où l'on dépasse ces doses minima de levûre, une portion de celle-ci restant active et capable d'agir sur de nouveau sucre, devrait exercer sur elle-même ce reste de vie, et que la proportion d'acide carbonique et d'alcool en serait accrue. Il n'en est rien. J'ai porté le poids de levûre jusqu'à 8 pour 100 (poids de matière sèche) ou 40 pour 100 poids de matière en pâte, et je n'ai pas obtenu un volume d'acide carbonique supérieur à celui qu'indique un calcul rigoureux, c'est-à-dire en tenant compte de l'acide succinique et de la glycérine formés pendant la fermentation. Je n'ai pas fait assez d'expériences pour connaître la limite à partir de laquelle la levûre agirait sur elle-même; je crois qu'il faudrait bien aller jusqu'à employer autant de levûre en pâte que de sucre, et qu'avec cette proportion même de levûre il n'y aurait pas sensiblement de différence pour le volume d'acide carbonique (si même il y en avait), avec ce qui se passe

dans les cas ordinaires (1). Il résulte de ces observations qu'un épuisement même faible de la levûre en présence du sucre lui ôte cette activité capable de s'exercer sur les matières hydrocarbonées de ses propres tissus; et elle peut encore transformer du sucre alors qu'elle ne peut plus rendre soluble et transformer la cellulose de ses enveloppes.

Je suis très-porté à interpréter les faits qui précèdent de la manière suivante : La levûre de bière formée à peu près exclusivement de globules arrivés à leur développement normal, adultes si l'on peut s'exprimer ainsi, est mise en présence du sucre. Sa vie recommence. Elle donne des bourgeons. C'est un fait avéré. Y a-t-il assez de sucre dans la liqueur, les bourgeons se développent, assimilent du sucre et la matière albuminoïde des globules mères. Ils arrivent ainsi peu à peu au volume que nous leur connaissons. Voilà l'image fidèle des fermentations lentes ordinaires. Supposons au contraire un poids de sucre de beaucoup insuffisant pour amener les premiers développements à l'état de globules complets ou même de globules formés et visibles, on se trouvera alors dans le cas des expériences que je viens de rapporter, et l'on aura affaire en quelque sorte à des globules mères ayant tous de très-jeunes petits. La nourriture extérieure venant à manquer, les très-jeunes bourgeons vivent alors aux dépens des globules mères.

Les faits qui précèdent ont appelé mon attention sur une circonstance relative à la levûre depuis bien longtemps remarquée et qui, par sa liaison avec ce que nous venons de dire, prend une importance tout autre que celle qu'on lui avait attribuée jusqu'à ce jour. Chacun sait que la levûre délayée dans l'eau pure, surtout en été, laisse dégager des bulles de gaz qui partent des divers points de la masse et viennent crever à la surface du liquide en soulevant avec

(1) Cependant ces proportions doivent varier beaucoup avec l'activité de la levûre.

elles un peu de la levûre déposée. On expliquait ce phénomène, comme tous ceux du même genre, en disant que par l'effet du contact de l'air un mouvement de décomposition commençait dans la levûre, que la levûre s'altérait. On paraissait d'autant plus autorisé à porter ce jugement, qu'au bout de quelques jours la levûre répand une odeur très-désagréable; que les gaz dégagés renferment beaucoup d'hydrogène, de l'hydrogène sulfuré en petite quantité, et qu'au microscope une goutte du liquide ou du dépôt se montre remplie d'infusoires, de vibrions, etc.; qu'enfin la levûre perd beaucoup de son énergie.

L'explication que l'on donne de ces phénomènes est loin d'être exacte. Il est bien vrai que la levûre ainsi abandonnée sous l'eau finit par entrer en putréfaction. Mais le premier mouvement gazeux n'est point du tout le commencement de cette putréfaction subséquente. La levûre très-active que l'on délaye dans l'eau porte son activité sur ses propres tissus, et c'est une véritable fermentation qui s'accomplit. Il se produit de l'alcool en quantité extrêmement sensible et du gaz acide carbonique parfaitement pur, et l'on voit les globules s'altérer absolument comme il arrive dans le cas des fermentations alcooliques ordinaires. Que le gaz carbonique soit pur, rien de plus facile que de le reconnaître en plaçant la bouillie dans un tube renversé plein de mercure; pour l'alcool, il suffit de déterminer la quantité d'alcool de la levûre le premier, le deuxième, le troisième, le quatrième jour. La proportion d'alcool presque insignifiante le premier jour, si l'on a lavé la levûre et rejeté les eaux de lavage, augmente progressivement, et tant que le microscope n'accuse que la présence de la levûre de bière, c'est une véritable fermentation alcoolique qui s'opère. Le gaz hydrogène n'apparaît, la formation de l'alcool ne s'arrête qu'après les premiers jours, alors que le microscope fait voir diverses levûres, notamment la levûre lactique et des infusoires.

C'est là précisément le phénomène que nous avons étudié tout à l'heure, mais dans des conditions où il était exagéré par l'effet de la fermentation de la petite quantité de sucre qui l'avait précédé.

Ces observations me paraissent avoir une utilité réelle. Non-seulement elles nous donnent la clef des altérations spontanées de la levûre, en dehors de toute putréfaction, elles montrent en outre que la vie de cette espèce de mycoderme se déclare dès que les conditions de température et d'humidité sont convenables. Comme une graine toujours prête à germer, la levûre, si elle a la température et l'eau nécessaires, vit aux dépens de sa propre substance, et sa vie se manifeste par l'acte physiologique qui la caractérise : la formation de l'acide carbonique, de l'alcool, de l'acide succinique, et de la glycérine (1). Vient-on à placer cette levûre en présence du sucre, elle ne fait que continuer cette vie qui n'est jamais suspendue, mais alors elle en accomplit toutes les phases avec une bien plus grande énergie apparente, parce que dans le même temps la somme de vie et d'organisation est incomparablement accrue.

§ VIII. — *Applications de quelques-uns des résultats de ce Mémoire à la composition des liquides fermentés. Études particulières sur le vin.*

Nous avons reconnu que la glycérine et l'acide succinique étaient des produits constants de la fermentation alcoolique. Ils doivent donc exister dans tous les liquides qui ont subi cette fermentation, tels que le vin, la bière, le cidre, etc...,

(1) Si l'on place sur le porte-objet du microscope une très-petite cuve de verre renfermant de la levûre jeune translucide, peu ou point granuleuse intérieurement, délayée dans l'eau pure, sans la moindre addition de sucre, on la voit, dans l'espace de quelques heures, devenir progressivement granuleuse et dégager du gaz acide carbonique pur. Il s'y forme des vacuoles internes et des granulations pareilles à celles qui s'y produisent lorsqu'elle agit directement sur les sucres.

et on les y trouve en effet, bien que jusqu'ici les nombreuses analyses de ces liqueurs fermentées ne les aient pas encore signalés. Les matières extractives, incristallisables, que ces liqueurs renferment toujours, ont masqué leur présence.

Je n'ai fait d'études particulières que sur le vin, la plus utile et la plus répandue en France des boissons alcooliques.

Voici le procédé dont je me suis servi pour extraire la glycérine et l'acide succinique du vin : 250 centimètres cubes du vin sont décolorés par 20 grammes de charbon animal ; on filtre et on lave bien le charbon sur le filtre. Le liquide filtré est évaporé doucement, et lorsque son volume est réduit à 100 centimètres cubes environ, on le traite par quelques grammes de chaux éteinte pour saturer tous les acides. On achève l'évaporation dans le vide sec. La masse qui reste est traitée dans la capsule même où elle se trouve, ou mieux encore dans un mortier, par le mélange d'alcool et d'éther dont il a été question dans le cours du Mémoire, formé de 1 partie d'alcool à 90 ou 92 degrés, et $1 \frac{1}{2}$ partie d'éther rectifié à 62 degrés.

Ce traitement est assez difficile, parce qu'une partie du résidu est plastique ; mais peu à peu il se grumelle et on peut broyer le tout. Chaque portion du lavage est jeté sur le filtre, et le liquide éthéré est évaporé avec les précautions que j'ai indiquées, dans une capsule tarée dont la dessiccation s'achève dans le vide sec.

La glycérine ainsi préparée est à peu de chose près pure, ainsi que le prouvent son analyse et sa saveur (elle ne renferme pas plus de 1 à $1 \frac{1}{2}$ pour 100 de matières étrangères.

Voici un tableau de quelques analyses faites en suivant ces indications.

Les nombres donnés pour l'acide succinique ont été déduits par le calcul de ceux de la glycérine en prenant pour rapport de ces deux produits celui qui a été le plus ordinaire dans toutes les fermentations que j'ai analysées : 3,5 de glycérine pour 0,7 d'acide succinique environ.

J'ai retiré de chacun des vins inscrits au tableau de l'acide succinique cristallisé et pur; mais dans le dosage exact de cet acide, j'ai trouvé des difficultés que je n'ai pas encore levées entièrement pour le séparer sans perte de tous les autres matériaux du vin. J'aurai l'occasion de revenir sur ce détail intéressant.

	QUANTITÉ de glycérine par litre déduite de l'analyse faite sur 1 quart de litre	QUANTITÉ d'acide succinique par litre, calculée d'après les proportions de glycérine.	QUANTITÉ d'alcool Poids pour 100 cent cubes de vin
Vin vieux de Bordeaux. (Bonne qualité.).....	gr 7,412	gr 1,48	gr 7,5
Vin de Bordeaux ordin...	6,97	1,39	7,35
Vin de Bourgogne vieux. (Bonne qualité.).....	7,34	1,47	8,1
Vin de Bourgogne ordin.	4,34	0,87	7,8
Vin d'Arbois vieux.(Bonne qualité.).....	6,75	1,35	9,0

La proportion de glycérine trouvée dans le bourgogne ordinaire est très-faible. Je serais porté à croire que ce vin avait été additionné d'eau et d'alcool, ce qui diminue les proportions de la glycérine et de l'acide succinique.

Les vins dont la fermentation a enlevé tout le sucre donnent une quantité d'extrait qui varie, suivant les auteurs, de 15 à 25 grammes par litre. Plus du tiers, souvent près de la moitié des matériaux solides du vin étaient donc inconnus jusqu'à ce jour, et les plus importants sans contredit. Tout le monde sera porté à attribuer à la glycérine, principe essentiel des matières grasses, une part utile dans les propriétés bienfaisantes du vin. La présence de la glycérine dans le vin, où elle est associée à des matières albuminoïdes et à des phosphates, mérite l'attention sérieuse des physiologistes. L'acide succinique, malgré sa proportion relativement faible, est loin d'être négligeable. La saveur

de cet acide a quelque chose d'étrange, et en mélangeant de l'eau, de l'alcool, de la glycérine et de l'acide succinique dans les proportions de la fermentation, on est surpris de sentir à quel degré ces mélanges rappellent le vin. On acquiert ainsi la conviction que la saveur propre à cette boisson, dans ce qu'elle a de plus *sui generis*, est due pour une part essentielle à l'acide succinique.

La proportion de glycérine trouvée dans ces diverses espèces de vin, mise en rapport avec la teneur en alcool de laquelle on peut déduire approximativement le poids primitif de sucre du moût de raisin, paraît indiquer que dans la fermentation du moût de raisin il se forme bien plus de glycérine et d'acide succinique que dans les fermentations ordinaires. Cette circonstance peut tenir à diverses causes. On aurait pu croire, par exemple, que la levûre du raisin était une variété particulière de levûre alcoolique, ayant son action spéciale et un peu différente des variétés d'une autre origine. Afin de vérifier cette présomption, j'ai fait venir d'un vignoble du Jura de la levûre de vin de la récolte de 1858. Cette levûre n'était autre que le dépôt resté dans un tonneau de vin blanc après le soutirage dans les premiers jours de mars. J'ai lavé cette lie sur un filtre. Elle avait au microscope l'aspect de la levûre de bière. Ses globules étaient très-granuleux. Elle différait un peu de la levûre de bière ordinaire par la grosseur inégale de ses grains. Mais il n'y avait pas du tout de globules très-petits, et aucune trace de levûre lactique ni de corps étrangers.

L'activité de cette levûre était de force moyenne.

50 grammes de sucre candi ont été mis à fermenter avec 10 grammes de cette levûre renfermant à l'état sec 3^{sr},785 de matière.

Le 7 et le 9 avril la fermentation fut terminée. Plus du tout de sucre à la liqueur cuivrée. Au microscope, ni levûre lactique, ni levûre quelconque étrangère. La fermentation a donc été franchement et entièrement alcoolique.

J'ai recueilli après la fermentation :

1^o. 2^{sr},750 de levûre desséchée à 100 degrés.

2^o. 1^{sr},576 de matières extractives, insolubles dans le mélange éthéré, celle qui accompagne le succinate de chaux comprise.

La somme 2,750 + 1,576 est égale à 4,326. Si on soustrait les 3,875 de levûre sèche employée, on trouve 0,541 de différence. Ainsi pour 50 grammes de sucre il s'est fixé sur cette levûre de vin 0,541 de cellulose et d'autres matières, soit 1,182 pour 100 de sucre. Ce résultat s'accorde très-bien avec ceux des fermentations avec levûre de bière ordinaire, bien qu'il y ait des différences sensibles dans la proportion des matières solubles et insolubles de ces levûres de bière et de vin. Cela ressort des nombres mêmes que j'ai donnés. Quant à l'acide succinique, j'en ai trouvé 0^{sr},433, calculé d'après le poids de chaux nécessaire à la saturation. Enfin le poids de glycérine déterminé avec de grands soins a été égal à 1,833.

Ces nombres correspondent en les doublant à 0,866 d'acide succinique et 3,666 de glycérine pour 100 de sucre. Ils se rapprochent beaucoup de ceux que l'on trouve dans les fermentations lentes avec levûre des brasseries, et ils sont un peu supérieurs au contraire à ceux des fermentations rapides.

Ainsi, la levûre de vin fournit les mêmes résultats que la levûre de bière. Ce serait donc plutôt aux conditions particulières du milieu pendant la fermentation du moût de raisin qu'il faudrait attribuer la forte proportion de glycérine et d'acide succinique que nous avons trouvée dans le vin, ou à quelque autre circonstance inconnue.

Quoi qu'il en soit, l'étude que nous venons de faire de certaines variétés de vin et des produits de la fermentation par la levûre du raisin, apporte une confirmation précieuse de la vérité de quelques-uns des principaux résultats de ce Mémoire.

Quant à l'interprétation de l'ensemble des faits nouveaux que j'ai rencontrés dans le cours de ces recherches, j'ai la confiance que quiconque les jugera avec impartialité reconnaîtra què la fermentation alcoolique est un acte corrélatif de la vie, de l'organisation de globules, non de la mort ou de la putréfaction de ces globules, pas plus qu'elle n'apparaît comme un phénomène de contact où la transformation du sucre s'accomplirait en présence du ferment sans lui rien donner ni lui rien prendre.

C'est par ces lignes que je terminais déjà mon Mémoire relatif à la découverte de la levûre lactique, production organisée entièrement comparable à la levûre alcoolique, et à la présence de laquelle sont dus tous les phénomènes de fermentation lactique, comme à la levûre ordinaire doivent être rapportés les divers phénomènes de fermentation alcoolique.

Extrait des *Annales de Chimie et de Physique*, 3^e série, t. LVIII.



PARIS. — IMPRIMERIE DE MALLET-BACHELIER,
RUE DE JARDINS, 12.